



Vitor Manuel Ramalho Pereira

Licenciatura Engenharia Mecânica (Pré-Bolonha)

**Sistema de Apoio à Orçamentação de
Ferramentas de Estampagem e ao
Projecto da Peça**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor António Mourão, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Gonçalves Coelho

Arguente(s): Prof. Doutor Paulo Miguel Nogueira Peças
Senhor Henrique José de Sousa Neto

Vogal(ais): Prof. Doutor António José Freire Mourão
Prof. Doutor António Gabriel Duarte dos Santos



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2012

**Sistema de Apoio à Orçamentação de Ferramentas de Estampagem
e ao Projecto da Peça**

“Copyright” © 2012 Vitor Manuel Ramalho Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para a realização desta dissertação, especialmente ao meu orientador Professor Doutor António Mourão, pelo seu rigor científico e a sua enorme capacidade objectiva.

Quero ainda agradecer à minha família por todo o apoio e compreensão ao longo de todo este tempo, em especial à minha esposa e à minha filha, que são a minha força.

Para último e não em último a todos os meus amigos, muito obrigado pelo vosso apoio, vocês sabem quem são.

Como alguém disse-me
"Para realizar grandes coisas, precisamos sonhar do mesmo modo que agir."

Vitor Ramalho Pereira

Índice

ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 FLUXOGRAMA DE FABRICO	1
1.3 ESTAMPAGEM	3
1.4 OBJECTIVO DO TRABALHO	5
2 O DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS E A ESTIMAÇÃO DE CUSTOS	6
2.1 TENDÊNCIAS NO FABRICO DE FERRAMENTAS	6
2.2 MERCADO, PRODUTO E TECNOLOGIAS	7
2.2.1 <i>Estratégia cooperativa (fabricante – cliente)</i>	9
2.2.2 <i>Estratégia cooperativa (fabricante – produção em série)</i>	10
2.3 METODOLOGIA NA ESTIMAÇÃO DE CUSTOS.....	11
2.3.1 <i>Método paramétrico</i>	12
2.3.2 <i>Método analógico</i>	13
2.3.3 <i>Ligação dos métodos</i>	14
2.4 ESTIMAÇÃO DE CUSTOS	14
3 PRÁTICAS CORRENTES NUMA EMPRESA DE FABRICO DE FERRAMENTAS.....	17
3.1 ORÇAMENTO PREVISTO VS CUSTO REAL.....	17
3.2 FOLHA DE ORÇAMENTO.....	19
4 MÉTODO DE ABORDAGEM.....	21
4.1 APRECIAÇÃO DOS DADOS DE HISTÓRICO	21
4.2 OBJECTO DE ESTUDO.....	22
4.3 METODOLOGIA SEGUIDA.....	23
4.4 DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA ORÇAMENTAÇÃO POR SECTOR	25
5 CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES E DAS FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM.27	
5.1 OPERAÇÕES DE ESTAMPAGEM.....	27
5.1.1 <i>Corte</i>	27

5.1.2	<i>Dobra</i>	27
5.1.3	<i>Embutido</i>	28
5.2	CLASSIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM	28
6	FERRAMENTAS SIMPLES	32
6.1	DADOS DE ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS SIMPLES	32
6.2	ESTUDO DE ITENS RELEVANTES NAS FERRAMENTAS SIMPLES	35
6.2.1	<i>Estudo Inicial</i>	35
6.2.2	<i>Estudo Final</i>	37
6.3	CÁLCULO DO ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS SIMPLES	38
6.3.1	<i>Factores de cálculo</i>	38
6.3.2	<i>Cálculo do volume da ferramenta</i>	40
6.3.3	<i>Cálculo do tempo de projecto</i>	42
6.3.4	<i>Cálculo do tempo de programação</i>	44
6.3.5	<i>Cálculo do tempo de Torno</i>	46
6.3.6	<i>Cálculo do tempo de desbaste</i>	48
6.3.7	<i>Cálculo do tempo de fresagem convencional</i>	49
6.3.8	<i>Cálculo do tempo de fresagem CNC</i>	51
6.3.9	<i>Cálculo do tempo de rectificação</i>	53
6.3.10	<i>Cálculo do tempo de Electroerosão</i>	54
6.3.11	<i>Cálculo do tempo de montagem/ensaio</i>	56
6.3.12	<i>Cálculo do valor da matéria-prima</i>	58
6.3.13	<i>Cálculo do valor dos tratamentos térmicos</i>	60
6.3.14	<i>Cálculo do valor dos extras</i>	62
6.3.15	<i>Cálculos Finais</i>	64
6.3.16	<i>Aplicações do sistema a casos concretos</i>	67
7	FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	72
7.1	DADOS DO ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	72
7.2	ESTUDO DOS ITENS RELEVANTES DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	77
7.3	CÁLCULO DO NÚMERO DE PASSOS.....	78
7.3.1	<i>Determinação do número de passos para características de corte</i>	78
7.3.2	<i>Determinação do número de passos para características de forma</i>	82
7.3.3	<i>Número de passos de forma</i>	84
7.3.4	<i>Cálculos Finais</i>	89
7.4	CÁLCULO DO ORÇAMENTO DAS FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	93
7.4.1	<i>Factores de cálculo</i>	93
7.4.2	<i>Cálculo do volume da ferramenta</i>	94
7.4.3	<i>Cálculo tempo de projecto</i>	94
7.4.4	<i>Cálculo tempo de programação</i>	95
7.4.5	<i>Cálculo tempo de torno</i>	95

7.4.6	<i>Cálculo tempo de desbaste</i>	96
7.4.7	<i>Cálculo tempo de fresagem convencional</i>	96
7.4.8	<i>Cálculo tempo de fresagem CNC</i>	97
7.4.9	<i>Cálculo tempo de Rectificação</i>	97
7.4.10	<i>Cálculo tempo de Electroerosão.....</i>	98
7.4.11	<i>Cálculo tempo de Montagem/Ensaio.....</i>	98
7.4.12	<i>Cálculo valor de Matéria-prima.....</i>	99
7.4.13	<i>Cálculo valor de Tratamento Térmico.....</i>	100
7.4.14	<i>Cálculo valor de Extras</i>	100
7.4.15	<i>Cálculos Finais</i>	114
7.4.16	<i>Aplicação do sistema a casos concretos</i>	117
8	CONCLUSÕES	121
9	BIBLIOGRAFIA	123
10	ANEXOS.....	124

Índice de figuras

FIGURA 1-1- FLUXOGRAMA DE PROJECTO E FABRICO DE UMA FERRAMENTA “TIPO”	2
FIGURA 1-2 – A) PRENSA HIDRÁULICA; B) PRENSA MECÂNICA	4
FIGURA 2-1 – ESTADO DO MEIO ENVOLVENTE [REF. 3]	8
FIGURA 2-2 – COOPERAÇÃO PRODUTOR-FABRICANTE [REF. 3]	9
FIGURA 2-3 – RELAÇÃO FABRICANTE-CLIENTE [REF. 3].....	9
FIGURA 2-4 – RELAÇÃO FABRICANTE-PRODUÇÃO EM SÉRIE [REF. 3]	10
FIGURA 2-5 – DECISÃO NO PRODUTO [REF. 2] FIGURA 2-6 – INFLUENCIAR CUSTO [REF. 2]	11
FIGURA 2-7 – MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DE CUSTOS [REF. 4]	12
FIGURA 2-8 – GRÁFICO DE REGRESSÕES [REF. 4]	12
FIGURA 2-9 – PRINCÍPIO DOS CASOS CONHECIDOS [REF. 4]	13
FIGURA 2-10 – MÉTODO PARA ANÁLISE DA PEÇA [REF. 5]	15
FIGURA 2-11 – MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA FORMA DA PEÇA [REF. 5].....	15
FIGURA 2-12 – MÉTODO DE CUSTO DA PEÇA [REF. 5]	16
FIGURA 2-13 – MÉTODO PARA CARACTERÍSTICAS DA PEÇA [REF. 5].....	16
FIGURA 3-1 – MODELO DA FOLHA DE ORÇAMENTO PREVISTO VS CUSTO REAL	17
FIGURA 3-2 – PREENCHIMENTO DO CUSTO PREVISTO	18
FIGURA 3-3 – PREENCHIMENTO DO CUSTO REAL	19
FIGURA 3-4 – FOLHA DE ORÇAMENTO	19
FIGURA 4-1 – FLUXOGRAMA DE ORÇAMENTO	24
FIGURA 5-1 – CORTE DE CHAPA [REF. 12]	27
FIGURA 5-2 – DOBRA DE CHAPA [REF. 12]	28
FIGURA 5-3 – EMBUTIDO DE CHAPA [REF. 12]	28
FIGURA 5-4 – FERRAMENTAS SIMPLES [REF. 10]	29
FIGURA 5-5 – FERRAMENTAS COMPOSTAS [REF. 10]	30
FIGURA 0-6 - FERRAMENTA PROGRESSIVA DE CORTE [REF. 10]	30
FIGURA 0-7 - FERRAMENTA PROGRESSIVA DE CORTE E EMBUTIR [Ref. 10].....	30
FIGURA 6-1 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS VALORES MONETÁRIOS PARA FERRAMENTAS SIMPLES	34
FIGURA 6-2 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE HORAS ORÇAMENTADAS PARA FERRAMENTAS SIMPLES	34
FIGURA 6-3 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL CONJUNTA DE HORAS ORÇAMENTADAS PARA FERRAMENTAS SIMPLES	34
FIGURA 6-4 – MATÉRIA-PRIMA VS VOLUME DA FERRAMENTA PARA FERRAMENTAS SIMPLES.....	36
FIGURA 6-5 – MATÉRIA-PRIMA VS ÁREA PLANIFICADA PARA FERRAMENTAS SIMPLES	36
FIGURA 6-6 – ÁREA DE ORÇAMENTO	37
FIGURA 6-7 – CÁLCULO VOLUME FERRAMENTA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	40
FIGURA 6-8 – CÁLCULO VOLUME FERRAMENTA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	41
FIGURA 6-9 – CÁLCULO PROJECTO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	42

FIGURA 6-10 – CÁLCULO PROJECTO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	43
FIGURA 6-11 – CÁLCULO PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	44
FIGURA 6-12 – CÁLCULO PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	45
FIGURA 6-13 – CÁLCULO TORNO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	46
FIGURA 6-14 – CÁLCULO TORNO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	47
FIGURA 6-15 – CÁLCULO DESBASTE DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	48
FIGURA 6-16 – CÁLCULO DESBASTE DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	48
FIGURA 6-17 – CÁLCULO FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	49
FIGURA 6-18 – CÁLCULO FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)..	50
FIGURA 6-19 – CÁLCULO FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE 0°)	51
FIGURA 6-20 – CÁLCULO FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	52
FIGURA 6-21 – CÁLCULO RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	53
FIGURA 6-22 – CÁLCULO RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	53
FIGURA 6-23 – CÁLCULO ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	54
FIGURA 6-24 – CÁLCULO ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	55
FIGURA 6-25 – CÁLCULO MONTAGEM/ENSAIOS DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	56
FIGURA 6-26 – CÁLCULO MONTAGEM/ENSAIOS DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	57
FIGURA 6-27 – CÁLCULO MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	58
FIGURA 6-28 – CÁLCULO MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	59
FIGURA 6-29 – CÁLCULO TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	60
FIGURA 6-30 – CÁLCULO TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO).....	61
FIGURA 6-31 – CÁLCULO EXTRAS DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°).....	62
FIGURA 6-32 – CÁLCULO EXTRAS DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	63
FIGURA 6-33 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	65
FIGURA 6-34 – SISTEMA ORÇAMENTAÇÃO FERRAMENTA SIMPLES	66
FIGURA 6-35 – ENTRADA DE DADOS NO SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES	66
FIGURA 6-36 – SAÍDA DE DADOS DO SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	67
FIGURA 6-37 – PEÇA COM CORTE 0° (OBRA P389)	68
FIGURA 6-38 – SAÍDA DO SISTEMA PARA A OBRA P389	68
FIGURA 6-39 – PEÇA COM CORTE ÂNGULO (OBRA N111)	69
FIGURA 6-40 – SAÍDA DO SISTEMA PARA A OBRA N111	69
FIGURA 6-41 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA FERRAMENTAS SIMPLES NO CASO DE PARTIDA.....	70
FIGURA 6-42 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA FERRAMENTAS SIMPLES NA ESPESSURA DE CHAPA	71
FIGURA 6-43 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA FERRAMENTAS SIMPLES NO NÚMERO DE PUNÇÕES.....	71
FIGURA 7-1 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS VALORES MONETÁRIOS PARA FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	76
FIGURA 7-2 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE HORAS ORÇAMENTADAS PARA FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	76
FIGURA 7-3 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL CONJUNTA DE HORAS ORÇAMENTADAS PARA FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	77

FIGURA 7-4 – CARACTERÍSTICAS DE CORTE [REF. 9].....	81
FIGURA 7-5 – CARACTERÍSTICAS EM SENTIDOS OPOSTOS [REF. 9]	81
FIGURA 7-6 – CARACTERÍSTICAS POUCO ESPAÇADAS [REF. 9]	81
FIGURA 7-7 – IDENTIFICAÇÃO DO NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS DE FORMA [REF. 9].....	82
FIGURA 7-8 – IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE FORMA [REF. 9].....	82
FIGURA 7-9 – SENTIDO DE FORMA [REF. 9]	83
FIGURA 7-10 – ÂNGULO DE FORMA NUM SÓ PASSO [REF. 9]	83
FIGURA 7-11 – ÂNGULO DE FORMA EM DOIS PASSOS [REF. 9]	83
FIGURA 7-12 – CARACTERÍSTICAS NA FACE APÓS A DOBRA [REF. 9].....	84
FIGURA 7-13 – CARACTERÍSTICAS PERTO DA LINHA DE DOBRA [REF. 9]	84
FIGURA 7-14 – FACES ELEMENTARES DA PEÇA [REF. 9]	85
FIGURA 7-15 – LIGAÇÕES ENTRE FACES ELEMENTARES [REF. 9].....	85
FIGURA 7-16 – FACE PRIMÁRIA COM A MAIOR ÁREA [REF. 9].....	86
FIGURA 7-17 – FACE PRIMÁRIA COM MAIOR NÚMERO DE LIGAÇÕES [REF. 9]	86
FIGURA 7-18 – FACE PRIMÁRIA COM MAIOR NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS [REF. 9].....	86
FIGURA 7-19 – NUMERAÇÃO DAS FACES ELEMENTARES [REF. 9].....	86
FIGURA 7-20 – PEÇA APÓS REMOÇÃO DAS FACES COM LIGAÇÃO ÚNICA [REF. 9]	87
FIGURA 7-21 – PEÇA APÓS REMOÇÃO DAS FACES COM LIGAÇÃO DUPLA [REF. 9]	87
FIGURA 7-22 – FACE ELEMENTAR PRIMÁRIA [REF. 9]	88
FIGURA 7-23 – NÚMERO DE PASSOS DE FORMA PARA DOIS CASOS [REF. 9]	88
FIGURA 7-24 – DOBRAS EM UM ÚNICO SENTIDO [REF. 9]	88
FIGURA 7-25 – DOBRAS EM DOIS SENTIDOS [REF. 9]	89
FIGURA 7-26 – FLUXOGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE PASSOS	89
FIGURA 7-27 – ALGORITMO DO CÁLCULO DE NÚMERO PASSOS	90
FIGURA 7-28 – PEÇA PARA ANÁLISE DO CÁLCULO DOS PASSOS DE CORTE.....	91
FIGURA 7-29 – REPRESENTAÇÃO DA FOLHA DE CÁLCULO APLICADA À PEÇA DA FIGURA 7-28.....	91
FIGURA 7-30 – PEÇA PARA EXPERIMENTAÇÃO DO ALGORITMO DO CÁLCULO DO NÚMERO TOTAL DE PASSOS	92
FIGURA 7-31 – REPRESENTAÇÃO DA FOLHA DE CÁLCULO APLICADA À PEÇA DA FIGURA 7-30.....	92
FIGURA 7-32 – CÁLCULO VOLUME DA FERRAMENTA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	94
FIGURA 7-33 – CÁLCULO DO PROJECTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	94
FIGURA 7-34 – CÁLCULO DA PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	95
FIGURA 7-35 – CÁLCULO DE TORNO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	95
FIGURA 7-36 – CÁLCULO DE DESBASTE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	96
FIGURA 7-37 – CÁLCULO DE FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	96
FIGURA 7-38 – CÁLCULO DE FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	97
FIGURA 7-39 – CÁLCULO DE RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	97
FIGURA 7-40 – CÁLCULO DE ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	98
FIGURA 7-41 – CÁLCULO DE MONTAGEM/ENSAIOS DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	98
FIGURA 7-42 – CÁLCULO DE MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	99

FIGURA 7-43 – CÁLCULO DE TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	100
FIGURA 7-44 – CÁLCULO DE EXTRAS DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	100
FIGURA 7-45 – FLUXOGRAMA PARA ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	115
FIGURA 7-46 – ALGORITMO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	116
FIGURA 7-47 – ENTRADA DE DADOS NO SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	116
FIGURA 7-48 – SAÍDA DE DADOS DO SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	117
FIGURA 7-49 – ORÇAMENTO DE FERRAMENTA PROGRESSIVA PARA A PEÇA DA FIGURA 7-28.....	117
FIGURA 7-50 – ORÇAMENTO DE FERRAMENTA PROGRESSIVA PARA A PEÇA DA FIGURA 7-30.....	118
FIGURA 7-51 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS CASO DE PARTIDA	119
FIGURA 7-52 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS AO NÚMERO TOTAL DE PASSOS	119
FIGURA 7-53 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS À ESPESSURA DE CHAPA...	120

Índice de tabelas

TABELA 1-1 – LEGENDA DO FLUXOGRAMA DE FABRICO	3
TABELA 6-1 - DADOS DE ORÇAMENTO FERRAMENTAS SIMPLES	33
TABELA 6-2 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA FERRAMENTAS SIMPLES	33
TABELA 6-3 – ITENS RELEVANTES INICIAIS DE FERRAMENTAS SIMPLES	35
TABELA 6-4 – ITENS RELEVANTES PARA FERRAMENTAS SIMPLES	39
TABELA 6-5 – FACTOR DE COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES	39
TABELA 6-6 – FACTOR DE ESPESSURA DE CHAPA DE FERRAMENTAS SIMPLES	40
TABELA 6-7 – FACTOR DE FORMA DE FERRAMENTAS SIMPLES	40
TABELA 6-8 – FACTOR DE PUNÇÕES DE FERRAMENTAS SIMPLES	40
TABELA 6-9 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (VOLUME FERRAMENTA)	41
TABELA 6-10 – TESTES DO CÁLCULO VOLUME DE FERRAMENTA DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	42
TABELA 6-11 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (PROJECTO)	43
TABELA 6-12 – TESTE DO CÁLCULO PROJECTO DE FERRAMENTAS SIMPLES	44
TABELA 6-13 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (PROGRAMAÇÃO)	45
TABELA 6-14 – FACTOR FORMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (PROGRAMAÇÃO)	45
TABELA 6-15 – TESTE CÁLCULO PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	46
TABELA 6-16 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (TORNO)	47
TABELA 6-17 – TESTES CÁLCULO TORNO DE FERRAMENTAS SIMPLES	47
TABELA 6-18 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (DESBASTE).....	49
TABELA 6-19 – TESTE CÁLCULO DESBASTE DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	49
TABELA 6-20 - FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (FRESAGEM CONVENCIONAL).....	50
TABELA 6-21 - FACTOR FORMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (FRESAGEM CONVENCIONAL)	50
TABELA 6-22 - TESTE CÁLCULO FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS SIMPLES	51
TABELA 6-23 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (FRESAGEM CNC)	52
TABELA 6-24 – FACTOR FORMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (FRESAGEM CNC).....	52
TABELA 6-25 – TESTE CÁLCULO FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	52
TABELA 6-26 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (RECTIFICAÇÃO).....	54
TABELA 6-27 – TESTE CÁLCULO RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES	54
TABELA 6-28 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (ELECTROEROSÃO)	55
TABELA 6-29 – FACTOR PUNÇÕES DE FERRAMENTAS SIMPLES (ELECTROEROSÃO).....	55
TABELA 6-30 – TESTE CÁLCULO ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	56
TABELA 6-31 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (MONTAGEM/ENSAIOS).....	57
TABELA 6-32 – TESTE CÁLCULO MONTAGEM/ENSAIOS DE FERRAMENTAS SIMPLES	57
TABELA 6-33 – FACTOR PONDERAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE A 0°)	58
TABELA 6-34 – FACTOR PONDERAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS SIMPLES (CORTE COM ÂNGULO)	59

TABELA 6-35 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (MATÉRIA-PRIMA)	60
TABELA 6-36 – TESTE CÁLCULO MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS SIMPLES	60
TABELA 6-37 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (TRATAMENTO TÉRMICO)	61
TABELA 6-38 – FACTOR PUNÇÕES DE FERRAMENTAS SIMPLES (TRATAMENTO TÉRMICO).....	61
TABELA 6-39 – TESTE CÁLCULO TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS SIMPLES.....	62
TABELA 6-40 – FACTOR COMPLEXIDADE DE FERRAMENTAS SIMPLES (EXTRAS).....	63
TABELA 6-41 – FACTOR PUNÇÕES DE FERRAMENTAS SIMPLES (EXTRAS)	63
TABELA 6-42 – FACTOR ESPESSURA CHAPA FERRAMENTAS SIMPLES (EXTRAS)	63
TABELA 6-43 – TESTE CÁLCULO EXTRAS DE FERRAMENTAS SIMPLES	64
TABELA 7-1 – DADOS DE ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	73
TABELA 7-2 – DADOS DE ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	74
TABELA 7-3 – DADOS DE ORÇAMENTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	75
TABELA 7-4 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO POR SECTOR NAS FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	76
TABELA 7-5 – ÍTENS RELEVANTES DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	79
TABELA 7-6 – ÍTENS RELEVANTES DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	80
TABELA 7-7 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE PASSOS CALCULADO E O REAL.....	92
TABELA 7-8 – FACTORES DE CÁLCULO FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	93
TABELA 7-9 – FACTOR DE ESPESSURA DE CHAPA NO CÁLCULO FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	93
TABELA 7-10 – TESTES CÁLCULO VOLUME DE FERRAMENTA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	101
TABELA 7-11 – TESTES CÁLCULO VOLUME DE FERRAMENTA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	101
TABELA 7-12 – TESTES TEMPO PROJECTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	102
TABELA 7-13 – TESTES TEMPO PROJECTO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)	102
TABELA 7-14 – TESTES TEMPO PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	103
TABELA 7-15 – TESTES TEMPO PROGRAMAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)	103
TABELA 7-16 – TESTES TEMPO TORNO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	104
TABELA 7-17 – TESTES TEMPO TORNO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)	104
TABELA 7-18 – TESTES TEMPO DESBASTE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	105
TABELA 7-19 – TESTES TEMPO DESBASTE DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	105
TABELA 7-20 – TESTES CÁLCULO FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	106
TABELA 7-21 – TESTES CÁLCULO FRESAGEM CONVENCIONAL DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	106
TABELA 7-22 – TESTES CÁLCULO FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	107
TABELA 7-23 – TESTES CALCULO FRESAGEM CNC DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)...	107
TABELA 7-24 – TESTES CÁLCULO RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	108
TABELA 7-25 – TESTES CÁLCULO RECTIFICAÇÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	108
TABELA 7-26 – TESTES CÁLCULO ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	109
TABELA 7-27 – TESTES CÁLCULO ELECTROEROSÃO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO) .	109
TABELA 7-28 – TESTES CÁLCULO MONTAGEM DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	110
TABELA 7-29 – TESTES CÁLCULO MONTAGEM DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)	110

TABELA 7-30 – TESTES CÁLCULO MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	111
TABELA 7-31 – TESTES CÁLCULO MATÉRIA-PRIMA DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)...	111
TABELA 7-32 – TESTES CÁLCULO TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	112
TABELA 7-33 – TESTES CÁLCULO TRATAMENTO TÉRMICO DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO).....	112
TABELA 7-34 – TESTES CÁLCULO EXTRAS DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS	113
TABELA 7-35 – TESTES CÁLCULO EXTRAS DE FERRAMENTAS PROGRESSIVAS (CONTINUAÇÃO)	113
TABELA 7-36 – COMPARAÇÃO ENTRE ORÇAMENTOS CALCULADOS PELO SISTEMA E OS REALIZADOS PELA EMPRESA	118

Resumo

Na dissertação foi desenvolvido um sistema de orçamentação de ferramentas de estampagem e de apoio à decisão no projecto da peça. O sistema baseou-se em dados de orçamentos relativos realizados por uma empresa num período de 8 anos. Esta opção pelos orçamentos em detrimento de valores de controlo de produção baseou-se na falta de fiabilidade destes e na consistência dos orçamentos realizados de forma convencional.

O sistema construído foi orientado por dois tipos de ferramentas: as simples e as progressivas. Para cada um dos tipos e para cada critério de orçamentação foram construídas linhas de tendência que relacionavam as características geométricas da peça com custos orçamentados. Para aumentar a correlação entre estas foram definidos os factores de cálculo que traduziam especificidades e dificuldades do fabrico da ferramenta para produzir determinadas geometrias. No caso das ferramentas progressivas foi determinante a implementação de um algoritmo da determinação do número de passos.

O sistema foi implementado em folha de cálculo, foi testado para análise de possíveis variações das características da peça no custo da ferramenta, tendo apresentado resultados que se manifestaram do maior interesse para o projecto da peça. Por fim, o sistema de apoio à orçamentação foi testado em comparação com orçamentos realizados e com alterações efectuadas à peça a estampar, tendo dado resultados muito aceitáveis. Estas análises foram validadas em reuniões de trabalho envolvendo pessoas do projecto, do fabrico, da orçamentação e comerciais.

Abstract

In the dissertation we developed a budgeting system of stamping tools and decision support in the project part. The system was based on data from budgets made by a company over a period of 8 years. This option by budgets rather than control values of production was based on the lack of reliability on control values and the consistency of these budgets performed conventionally.

The system was constructed guided by two types of tools: the simple and progressive tools. For each type of tool and for each criterion budgeting was constructed trend lines that related the geometrical characteristics of the part with budgeted. To increase the correlation between these factors were defined calculation that translated specificities and difficulties constructing tool to produce certain geometries. In the case of progressive tools was essential to implement an algorithm of determination of the number of steps.

The system was implemented in a spreadsheet, was tested for analysis of possible variations in the features part of the cost of the tool, and presented results that demonstrated the greatest interest for the project part. Finally, the support system budgeting was tested in comparison with budgets and made changes to the stamped part, and gave very acceptable results. These analyzes were validated in meetings involving people from the design, manufacture, budgeting and shopping.

1 Introdução

1.1 *Motivação*

A motivação para esta dissertação tem duas origens: a) a evolução global no mercado das ferramentas de estampar; b) a experiência profissional do autor.

Relativamente à evolução global no mercado das ferramentas de estampar, esta caracteriza-se pelo seguinte:

- Crescente número de orçamentos por unidade de tempo;
- Redução do tempo de resposta solicitado pelos clientes;
- Pressão em termos de custo pela concorrência de países de “baixo custo”;
- Pressão em termos de complexidade pelos países desenvolvidos;
- Crescente complexidade na geometria das peças;
- Necessidade cada vez maior de integrar conhecimento de natureza científica com conhecimento empírico;
- Sistematizar conhecimento existente na empresa.

Relativamente à experiência profissional do autor da dissertação, esta consta de 10 anos em diferentes áreas funcionais de uma empresa de projecto e fabrico de ferramentas, onde a crescente responsabilização de funções tem evidenciado a necessidade de ferramentas de apoio à decisão, para lidar com as situações relatadas do mercado.

A opção por utilizar dados de orçamentos uma vez que os custos de produção não apresentam uma estrutura a que levem a correlações aceitáveis, manifestou-se como uma abordagem diferente relativamente ao que a bibliografia apresenta.

Outro aspecto fundamental da motivação, prende-se com a necessidade sentida na empresa para uma atitude fomentada pelos clientes no sentido da engenharia simultânea.

Pretendeu-se desenvolver um sistema para apoio de quem está a orçar e que terá a experiência suficiente para analisar os dados, em alternativa a um sistema com características completamente automáticas.

1.2 *Fluxograma de fabrico*

O fluxograma apresentado na Figura 1-1 pretende mostrar o funcionamento da empresa em termos de projecto e fabrico de ferramentas de estampagem, desde a entrada do pedido de orçamento até à expedição da ferramenta, onde é apresentado tanto o fluxo de material como o fluxo de informação. A Tabela 1-1 apresenta o significado das siglas que aparecem na Figura 1-1. O fluxo de informação é toda a informação necessária para o projecto e fabrico de uma ferramenta “tipo” de estampagem, desde os relatórios enviados ao cliente, até aos relatórios para a produção dos componentes da ferramenta.

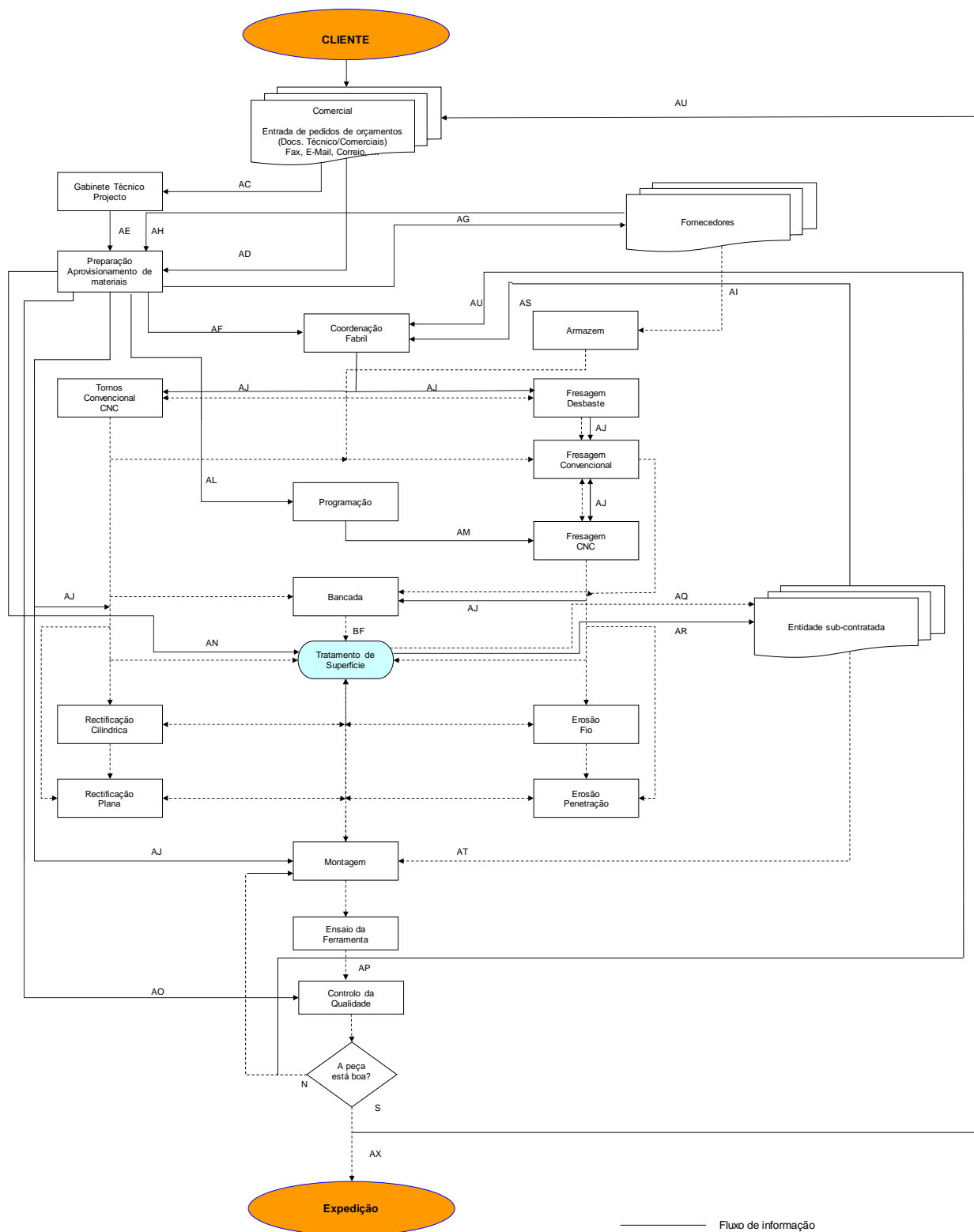


Figura 1-1- Fluxograma de Projecto e Fabrico de uma Ferramenta “Tipo”

Pode-se conferir as legendas do fluxograma na Tabela 1-1.

Tabela 1-1 – Legenda do Fluxograma de fabrico

AA	Pedido de orçamentos e prazos de entrega possíveis.
AB	Proposta do pedido de orçamento e prazos de entrega possíveis.
AC	Características técnicas e prazo do projecto.
AD	Prazo de entrega e orçamento estabelecido.
AE	Projecto completo, desenhos e folha de materiais.
AF	Desenhos, folha de materiais, folha de preparação e prazo de entrega.
AG	Pedido de orçamentos para o material e produtos normalizados, folha de encomenda.
AH	Recepção de folha de materiais para confirmação.
AI	Recepção dos materiais pedidos e dos produtos normalizados.
AJ	Desenhos e folha de preparação.
AL	Lista de programas a efectuar para a fresagem CNC ¹ .
AM	Programa para a fresagem CNC e folha de programação.
AN	Lista de material para tratamento de superfície e respectivo tratamento.
AO	Lista de cotagem para verificação.
AP	Peça estampada para verificação.
AQ	Materiais para tratamento de superfície.
AR	Lista de materiais e respectivos tratamentos para o tratamento de superfície.
AS	Relatório do tratamento de superfície.
AT	Material com tratamento de superfície.
AU	Relatório do controlo de qualidade.
AV	Reencaminhamento do controlo de qualidade.
AX	Expedição da ferramenta após validação do cliente do relatório do controlo de qualidade.

1.3 Estampagem

A estampagem entende-se como sendo o processo de fabrico de peças, através do corte ou conformação de chapas em operação de prensagem normalmente a frio. Emprega-se a estampagem de chapas para fabricar peças com paredes finas feitas de chapa ou fita de diversos metais e ligas. As operações de estampagem podem ser resumidas em três básicas.

- Corte;
- Dobra;
- Embutido.

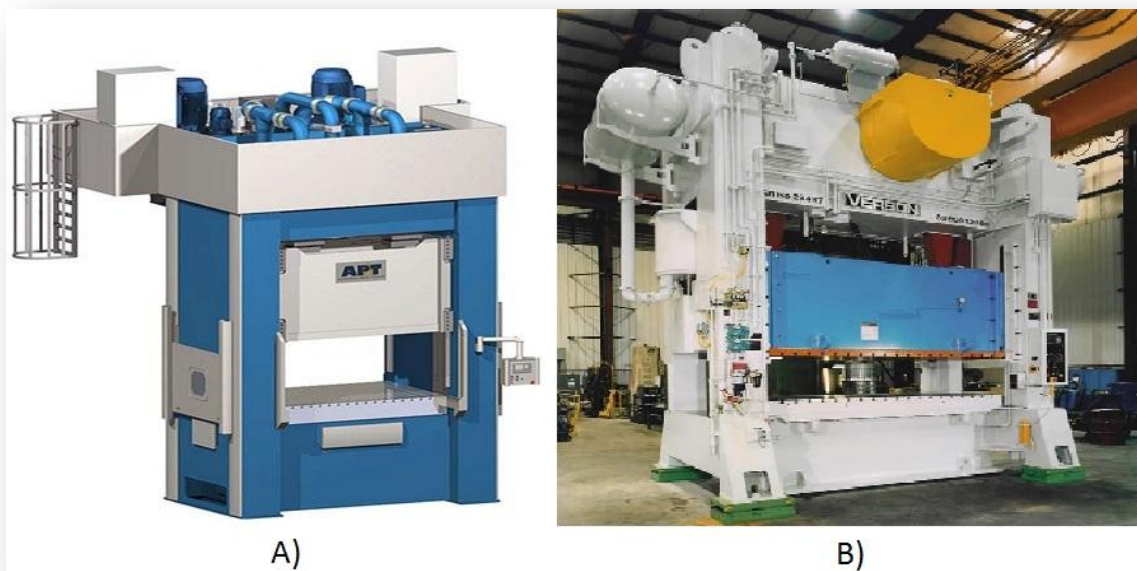
¹ CNC – Computer Numerically Controlled

A estampagem da chapa pode ser simples, quando executada numa só operação, ou combinada e progressiva, quando executada em várias operações. Com a ajuda da estampagem de chapas, fabricam-se peças de aço baixo carbono, aços inoxidáveis, alumínio, cobre e de diferentes ligas não ferrosas. Devido às suas características este processo de fabrico é apropriado, preferencialmente, para as grandes séries de peças, obtendo-se grandes vantagens, tais como:

- Alta produção;
- Reduzido custo por peça;
- Bom acabamento, não exigindo operações posteriores;
- Maior resistência das peças devido à conformação, devido ao encruamento no material;
- Baixo custo de controle da qualidade devido à uniformidade da produção e a facilidade para a detecção de desvios.

Como principal desvantagem deste processo, pode-se destacar o alto custo de fabrico, que só pode ser amortizado se a quantidade de peças a produzir for elevada.

Para trabalhar com as ferramentas de estampagem são habitualmente utilizadas as prensas de estampagem que podem ser mecânicas, em que um volante é a fonte de energia e a qual é aplicada por manivelas, engrenagens, excêntricos durante a operação de conformação. As prensas também podem ser hidráulicas, em que a pressão hidrostática aplicada contra um ou mais pistões fornece a energia para o esforço de conformação. A Figura



1-2 apresenta uma prensa mecânica e uma prensa hidráulica.

Figura 1-2 – A) Prensa Hidráulica; B) Prensa Mecânica

1.4 Objectivo do trabalho

O objectivo do trabalho apresentado visa o desenvolvimento de um sistema de apoio à orçamentação em ferramentas de estampagem, apoiado em dados de histórico de uma empresa que projecta e fabrica ferramentas de estampagem.

Nos dias que correm, cada vez mais o tempo de resposta é muito importante, ainda mais quando está em causa valores que podem facilmente ultrapassar milhares de euros. Uma má avaliação do projecto em si ou um atraso na resposta imposta pelo cliente pode significar a não adjudicação de uma ferramenta de estampar, ou até em casos mais graves quando o problema se torna repetitivo, a perda do cliente.

O sistema terá de ser arquitectado de raiz devido ao facto de não ser conhecido nenhum sistema com este propósito. Existem sistemas que possivelmente poderão ser adaptados em partes, mas nenhum que abranja todo o estudo. Esta idealização terá de ser feita analisando a empresa, averiguando o seu funcionamento, e quais as práticas correntes para o objectivo do trabalho.

Após a conceptualização é necessário decidir qual o trajecto a percorrer para o desenvolvimento do sistema. A definição do trajecto é determinante para um eficaz desenvolvimento do sistema.

Haverá uma análise abrangente a todos os dados disponíveis das obras de ferramentas de estampar, incluindo os dados do orçamento previsto, do custo real, e todos os projectos. Durante esta análise, todas as obras serão agrupadas de acordo com as suas características próprias, para haver uma análise por grupos e não gerais, visto que uma análise sistematizada é mais consistente e útil.

Após a conceptualização e caracterização das obras, estudar-se-á um conjunto de características principais nas ferramentas, com estas características criar-se-á relações entre os dados de orçamento e as próprias características das ferramentas de estampar. A criação das relações será feita à base de investigação e de estudos realizados na própria empresa. Estas relações serão posteriormente utilizadas para criar linhas de tendência.

A partir das linhas de tendência irá ser construído um sistema que terá como base a peça final, entregue em formato CAD pelo cliente na altura do pedido de orçamento para a respectiva ferramenta de estampagem. A partir de vários pontos críticos da peça que serão introduzidos no sistema, este atribui o orçamento para a peça tendo como forma de cálculo vários parâmetros que dependem directamente do tipo de ferramenta desejada e das linhas de tendência construídas com base no histórico.

2 O desenvolvimento de ferramentas e a estimação de custos

2.1 *Tendências no fabrico de ferramentas*

Apresenta-se uma síntese para este problema baseado em [Ref. 1].

A indústria das ferramentas de estampagem está em constante crescimento tecnológico. Tem havido tendências para substituir muitas peças de metal por peças de plástico, porque o custo das ferramentas é considerado muitas vezes demasiado alto. Porém, esta tendência talvez tenha um ponto de equilíbrio no futuro, porque o plástico nem sempre poderá substituir o metal e nem o metal poderá sempre substituir o plástico.

Tudo tem a sua esfera de uso e aplicação. Os plásticos são excelentes materiais, flexíveis, mas também são facilmente deteriorados, mudam de cor, adulteram-se sobre o efeito do sol, do calor e do tempo. As peças de metal, desde que são produzidas, mantêm-se estáveis sem serem afectadas pelo tempo, meio ambiente, operador, etc. Com a excepção de arruinar propositadamente, a corrosão ou em temperaturas extremas.

Um grande avanço no fabrico das ferramentas foi aquando da implementação de maquinaria por controlo numérico, tal como centros de fresagem ou centros de torno. Estas ferramentas de fabrico são autênticas máquinas automáticas, produzindo produtos de elevada qualidade de uma forma contínua. Naturalmente, para esta produção de elevada qualidade também é preciso que os programas que as máquinas correm, sejam também de qualidade equivalente.

O descobrimento da maquinação por descarga eléctrica (electroerosão) foi outro passo importante, produzindo peças que outrora seriam consideradas impossível de serem fabricadas. Novas tecnologias adicionais emergem no mercado continuamente, muitas delas benéficas para o campo da produção. Lasers, corte por água, tecnologia de plasma, electroerosão, erosão química, micro maquinação, maquinação electroresistente, aplicações por ultra-som, etc. Todas estas novas tecnologias existem para tornarem a produção mais fácil e produtiva.

Com o aparecimento de todas estas novas tecnologias e a um grande ritmo, leva a considerar um futuro utópico onde as máquinas irão realizar quase todas as tarefas, com este aspecto em mente pode-se dedicar mais tempo a áreas até agora negligenciadas porque, mesmo sendo importantes, não eram consideradas rentáveis. Por exemplo a área de projecto e do estudo de todos os processos de fabrico, onde se poderá rentabilizar melhor a própria ferramenta de estampar ou mesmo os processos de fabrico.

Em ordem para se ajustar confortavelmente com o novo mundo da modernização técnica, tem que se criar uma aproximação completamente nova para suportar as diversas secções da indústria. Muitos aspectos a ter em conta podem não ser estritamente técnicos,

mesmo assim são essenciais ao processo produtivo. São mais propriamente o planeamento, o controlo de inventário, publicidade, vendas e naturalmente a estimação de custos.

Felizmente existem imensos programas informáticos para a produção, que permitem organizar e planear diversas operações complexas. A capacidade de computação consegue facilmente tornar um caos de informação em procedimentos a seguir de uma forma instantânea. Os computadores são capazes de incessantemente de assistir nos processos de fabrico, nos processos administrativos, nos inventários, planeamento, e em muitos outros segmentos pertinentes da indústria. Conseguem atingir esta tarefa complexa alinhando vários tipos de dados, resultados de maquinação, etc., para posteriormente agrupar, listar e referenciar todos estes dados.

É impossível um computador assistir num processo onde não existe dados armazenados, registos de operações antecedentes e uma linha de processo a ser seguida. Estas são basicamente as linhas a serem seguidas num processo de estimação de custos nas empresas industriais. O campo de estimação de custos nem sempre evoluiu como outros sectores, é um campo onde ainda existe muito para fazer.

Ao longo dos anos, houve muitas ideias sobre como estimar o custo no campo de fabrico para um novo trabalho, mas estes métodos eram demasiado complexos, demasiados fastidiosos ou demasiados imprecisos. Quando alguns processos de estimação de custos funcionavam razoavelmente, são normalmente guardados em segredo, porque uma boa estimação de custos é um dos pilares de uma empresa de ferramentas de estampagem.

O método de estimar o custo de um produto baseado na venda dos projectos anteriores pode funcionar, ou pode não funcionar ao mesmo tempo. O que é verdade hoje poderá não o ser amanhã, com o evoluir da tecnologia e do próprio sistema de produção alterará o custo das ferramentas de estampar. E também depende da saturação do mercado e mais particularmente com o produto em questão.

Um grande problema na estimação de custos também é a flutuação de preços, o valor da matéria-prima tem uma grande flutuação visto ter uma grande dependência do petróleo.

2.2 Mercado, Produto e Tecnologias

Apresenta-se uma síntese deste problema baseado em [Ref. 3], [Ref. 4], [Ref. 5], [Ref. 6] e [Ref. 7].

O mercado, a peça e as tecnologias são factores críticos na indústria de ferramentas de estampagem e são objecto de rápidas e profundas mudanças. A Figura 2-1 descreve a situação clássica e a situação actual/futura da indústria de ferramentas de estampagem. Esta mudança é sinónimo do aumento de “pressão” sobre o custo, o tempo de desenvolvimento, a qualidade, e a competitividade entre mercados.

Os clientes da indústria de ferramentas de estampagem, principalmente a indústria automóvel, têm tido uma preocupação constante na redução do tempo de montagem dos automóveis, feito essencialmente à custa do menor número de peças na altura da montagem e numa maior ligação entre o cliente e a produção em série. Por exemplo, a Audi reduziu o

número de ferramentas de estampagem necessárias para um automóvel em cerca de metade, aumentando a complexidade das peças em questão, principalmente devido ao grande aumento de capacidade de computação, donde as empresas de ferramentas de estampagem necessitam seguir esta tendência. O factor mais crítico aquando do aumento de complexidade das peças será o cálculo do custo da ferramenta, tornando este campo ainda mais subjectivo e sem meios adequados para uma elaboração de orçamentos fiáveis.

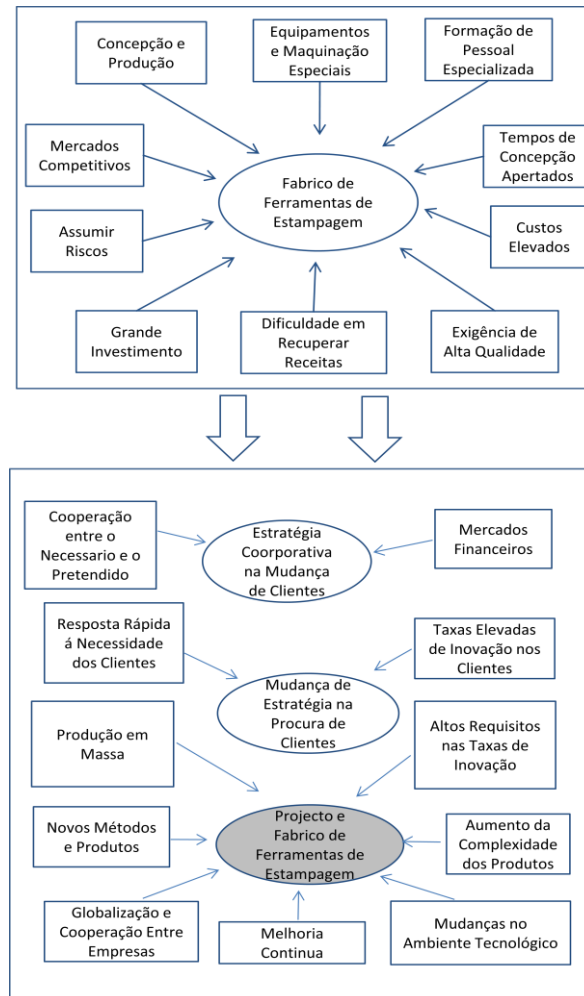


Figura 2-1 – Estado do meio envolvente [Ref. 3]

Tradicionalmente, o projecto da peça estampada e o desenvolvimento da ferramenta de estampar eram actividades para serem realizadas separadamente e sequencialmente por engenheiros e projectistas com diferentes responsabilidades e experiências. Como é ilustrado na Figura 2-2, o desenvolvimento da peça e da respectiva ferramenta deve ser realizado em simultaneidade para, por um lado, reduzir o tempo entre o projecto da peça e a produção da mesma, e por outro lado, para uma melhor adequação da ferramenta e optimização da peça no que ao custo de fabrico diz respeito.

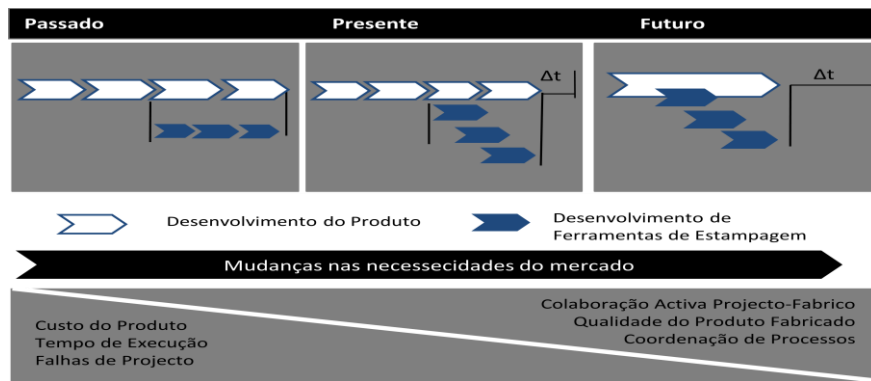


Figura 2-2 – Cooperação Produtor-Fabricante [Ref. 3]

2.2.1 Estratégia cooperativa (fabricante – cliente)

A indústria de ferramentas de estampagem completa um processo em cadeia que tipicamente se inicia com o desenvolvimento e projecto da peça a estampar, e termina com a sua produção em série.

Para entender a cooperação externa entre o projecto da peça e o desenvolvimento da ferramenta de estampagem, é necessário investigar as relações entre ambas as indústrias, como se poderá verificar na Figura 2-3.

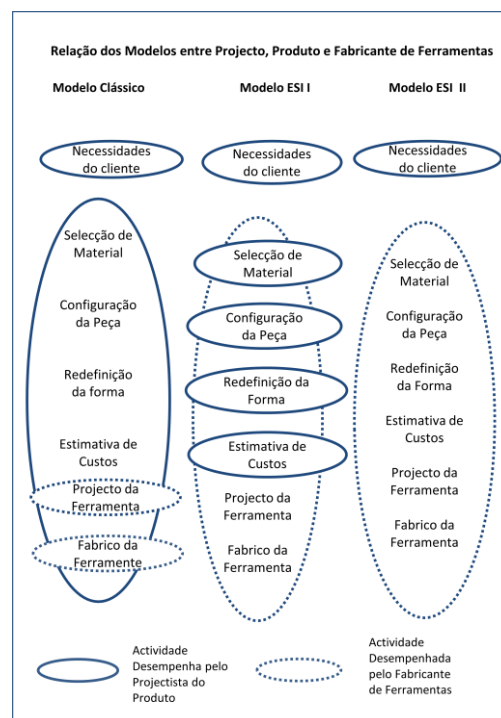


Figura 2-3 – Relação Fabricante-Cliente [Ref. 3]

Como se pode observar, no modelo clássico, o cliente executava todos os passos do desenvolvimento da peça incluindo também o projecto da ferramenta de estampagem, hoje em dia já se verifica uma maior cooperação entre ambas as indústrias, estando ambas empenhadas em quase todos os campos do desenvolvimento da peça. No entanto a tendência

natural será que o fabricante de ferramentas ocupe quase todos os campos do desenvolvimento da peça, onde o cliente só dirá quais as suas necessidades para a peça.

2.2.2 Estratégia cooperativa (fabricante – produção em série)

Durante o período de aplicação da ferramenta para produção em série, a relação de cooperação entre o fabricante de ferramentas de estampagem e a produção em série depende do grau de serviço e envolvimento, como se pode verificar na Figura 2-4

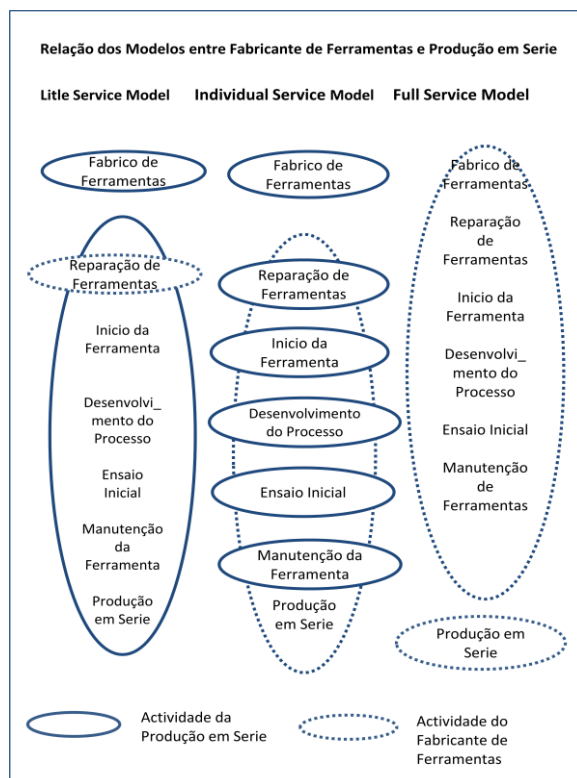


Figura 2-4 – Relação Fabricante-Produção em série [Ref. 3]

Observando a Figura 2-4, verificam-se três tipos de serviço, dependendo para esse facto muitos factores. O primeiro serviço é aquele onde o fabricante da ferramenta apenas procederá a reparações da mesma, o segundo serviço é onde existirá uma cooperação entre o fabricante e a produção em série, onde ambos estarão envolvidos em praticamente todas as etapas, e o último serviço é onde o fabricante deixará a ferramenta pronta para a produção em série, onde a produção não terá que se preocupar com nada mais.

Esta estratégia cooperativa não pode ser realizada somente pelo fabricante de ferramentas de estampagem. Este tipo de estratégia causa novas ambições para a cooperação entre clientes de ferramentas e os fabricantes. Para isto acontecer é necessário haver um suporte tecnológico, onde um dos factores mais importantes é sem dúvida o cálculo de custos dependendo de toda a estratégia cooperativa.

2.3 Metodologia na estimação de custos

Com o projecto de uma de peça, cerca de 80% do custo da mesma está comprometido, uma vez que as soluções propostas condicionam a produção. Além disso, quanto mais avançado esteja o desenvolvimento da peça menor será a possibilidade de alterações, principalmente devido ao alto custo das modificações, como se poderá verificar na Figura 2-5. Por esse facto, é essencial o projectista ter métodos eficientes de estimação de custos para poder avaliar acerca do custo inerente às decisões tomadas.

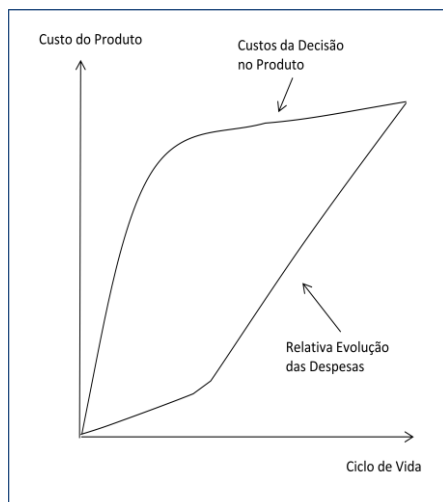


Figura 2-5 – Decisão no produto [Ref. 2]

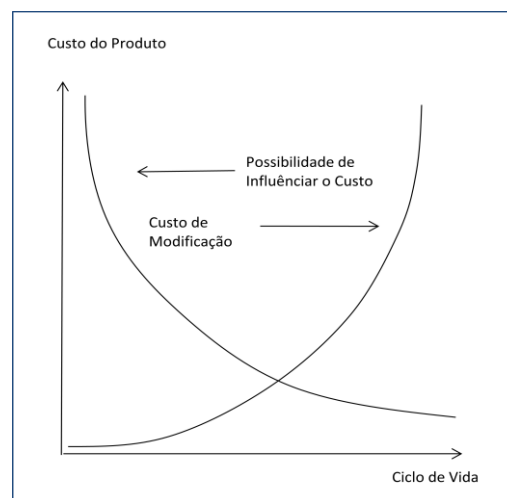


Figura 2-6 – Influenciar custo [Ref. 2]

Diferentes métodos de estimação de custos [Ref. 4]:

- Método intuitivo – Baseado na experiência de quem estima o custo, o resultado será sempre dependente do conhecimento de quem estima o custo;
- Método analógico – Estimação do custo da peça a partir de peças similares ou idênticas;
- Método paramétrico – Procura uma avaliação do custo da peça a partir de parâmetros e características da peça, mas sem a descrever na totalidade;
- Método analítico – Estima o custo da peça decompondo o trabalho exigido em tarefas independentes.

Nem todos os métodos podem ser usados durante todo o ciclo de vida da peça, na Figura 2-7 é apresentado um quadro de selecção de métodos dependente do estado de vida da peça.

Viabilidade	Definição	Desenvolvimento	Produção	Utilização	Serviço Pós-Venda
Analógico					Analógico
←		→			←
Paramétrico					
←		→	Analítico		
		←			→

Figura 2-7 – Métodos de estimação de custos [Ref. 4]

Na fase inicial do desenvolvimento de uma peça, nem toda a informação está disponível no momento da avaliação económica, e a rapidez com que essa avaliação é feita é um elemento importante, porque a actividade principal do desenvolvimento de uma peça não é a estimação de custos. Os dois métodos mais apropriados para a estimação de custos de uma peça são o método paramétrico e o método analógico. Os métodos paramétricos e analógicos funcionam muito bem quando aplicados em conjunto neste caso em particular.

2.3.1 Método paramétrico

O método paramétrico usa um certo número de características físicas ou parâmetros, que podem ser processados a partir de características técnicas para uma avaliação económica. Podem usar-se dois tipos de métodos paramétricos para o caso em questão:

- Modelos estatísticos;
- Fórmula de estimação de custo (CEF).²

Os modelos estatísticos são construídos à volta de um conjunto de relações estatísticas supostamente universais. Para obter estas relações, o conjunto de actividades para a realização da peça é dividido em domínios diferentes e cada um é objecto de uma fórmula matemática. Existindo para o caso três tipos de dados:

- Especificações técnicas;
- Relação para a ligação dos dados das variáveis;
- Constantes.

Na Figura 2-8 é apresentado um caso de modelo estatístico.

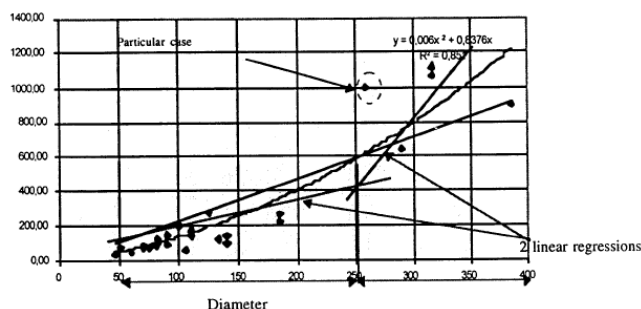


Figura 2-8 – Gráfico de regressões [Ref. 4]

² CEF – Cost Estimation Formule

A fórmula de estimação de custo (CEF) é constituída por relações matemáticas que visam a ligação entre o custo do produto e alguns parâmetros técnicos específicos.

O método paramétrico é muito útil devido à sua rapidez de execução, mas tem a desvantagem de ser um método que trabalha como sendo uma “caixa preta”, quando existe uma modificação das especificações, o único resultado visível são custos diferentes, sem saber ao certo a origem desses custos.

Durante a fase de projecto, nem toda a informação está disponível, algumas especificações necessárias para o CEF ainda não estão completamente definidas, mas para o modelo funcionar são necessários todos os parâmetros estarem correctamente preenchidos, logo, alguns parâmetros têm que ser estimados, o que pode causar alguma incerteza no resultado final.

Uma grande vantagem do CEF durante a fase de desenvolvimento da peça, é mostrar claramente a influência dos parâmetros no impacto económico da peça. Assim, se os projectistas estiverem cientes da influência dos parâmetros no custo da peça, poderão procurar otimizar o desenvolvimento da peça a partir do ponto de vista económico.

2.3.2 Método analógico

O método analógico usa soluções a partir das experiências passadas para resolver os problemas, este tipo de racionalização usa quatro operações básicas:

- Reconhecimento do problema;
- Procura por experiências similares e suas soluções;
- Escolha e adaptação de uma das soluções (caso conhecido) ao novo problema (caso alvo);
- Avaliação da nova situação e a aprendizagem do problema resolvido.

Este método usa técnicas de indexação de casos e de medidas de similaridade, tais como procedimentos de adaptação dos casos conhecidos para os casos alvo (ver Figura 2-9).

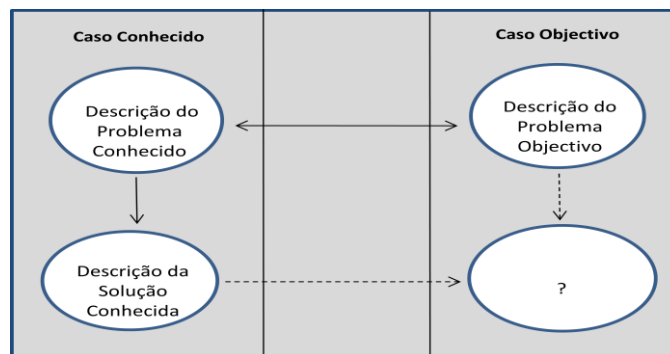


Figura 2-9 – Princípio dos casos conhecidos [Ref. 4]

2.3.3 Ligação dos métodos

A ligação destes dois métodos para o desenvolvimento da peça tem como base dois pontos importantes:

- Uso dos parâmetros e características da peça para a estimação de custos;
- Rapidez de execução dos dois métodos (a tarefa principal no desenvolvimento de uma peça não é a estimação de custos).

O método paramétrico tem a vantagem de ser utilizado facilmente, mostrará as tendências gerais que poderão ser indicadores para o projectista, no entanto tem uma grande desvantagem que é o facto de funcionar como uma “*caixa preta*”, onde o utilizador não poderá verificar a veracidade dos dados.

Para o método analógico, existe a capacidade de aceitar informação desconhecida para determinar se é um caso geral ou um caso particular, onde se poderá em certos casos ter um valor mais preciso do que utilizando somente o método paramétrico.

Finalmente, a combinação destes dois métodos pode ter grandes benefícios. É inteiramente razoável usar casos e soluções conhecidas usando o método analógico e adaptar estes casos ao método paramétrico usando modelos estatísticos ou o CEF.

2.4 Estimação de custos

Os fabricantes de ferramentas recebem as peças dos clientes e depois desenvolvem a ferramenta para a referida peça, contudo, existem dois problemas neste desenvolvimento tradicional. O primeiro deve-se à falta de comunicação entre os grupos de desenvolvimento da peça e da ferramenta, que poderá causar problemas consistentes, a peça até pode ser boa para a sua função e desempenho, mas pode pôr em causa a sua estampabilidade. O segundo problema está relacionado com os projectistas das ferramentas, que projectam seguindo a sua intuição e experiência em prol de um procedimento sistemático, assim sendo, a duração dos ensaios e das fases de projecto dependem significativamente do projecto da peça.

O custo total do desenvolvimento de uma peça pode ser reduzido significativamente, se o projecto da peça tiver em consideração os seus custos. Porém, na prática, não é fácil projectar com o objectivo centrado no custo, devido à complexidade dos processos de projecto, da grande quantidade e variedade de informação durante o seu ciclo de vida, da separação das funções de projecto, processos e fabrico. No entanto, é desejável haver uma análise de custo sobre as propostas de projecto.

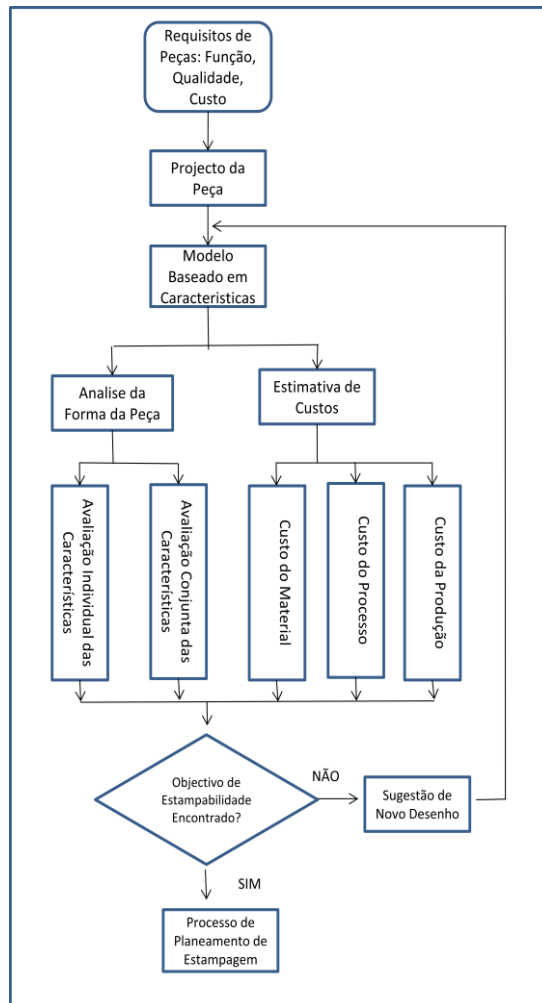


Figura 2-10 – Método para análise da peça [Ref. 5]

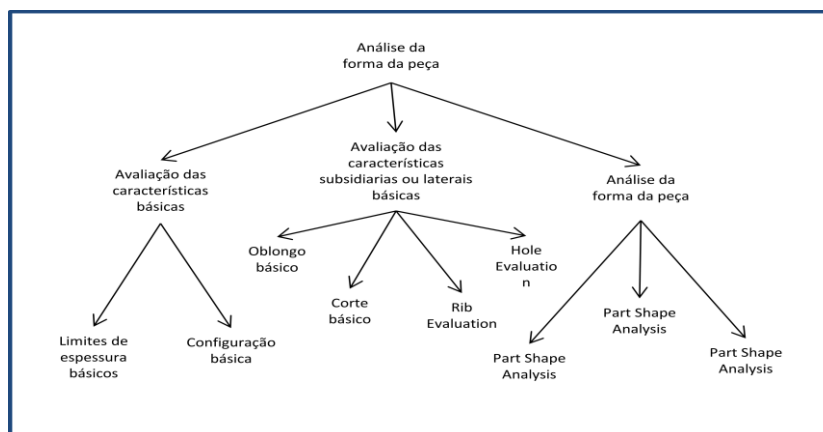


Figura 2-11 – Método de avaliação da forma da peça [Ref. 5]

Aquando da avaliação de uma peça para uma produção de ferramenta, o aspecto mais restritivo a ser considerado é o custo da ferramenta. Para construir uma ferramenta de estampagem é necessário um grande custo, envolvendo muitas pessoas, máquinas e várias tecnologias, por essa razão, a construção de uma ferramenta de estampagem necessita de ser economicamente justificável.

3 Práticas correntes numa empresa de fabrico de ferramentas

3.1 Orçamento previsto Vs Custo real

Para compreender por completo as práticas correntes da empresa relativamente à elaboração dos orçamentos, foram analisados todos os dados inicialmente julgados necessários.

Estudou-se os dados relativos aos orçamentos, onde existe o orçamento detalhado realizado pelo departamento comercial, e o custo real também detalhado como se pode verificar na Figura 3-1.

Na folha de cálculo apresentada na Figura 3-1, existem duas fases distintas no preenchimento da referida folha.

Inicialmente é preenchida a folha de cálculo com o número de horas previstas. Este número de horas depende basicamente da experiência acumulada ao longo do tempo pela pessoa que executará o orçamento. Para uma melhor compreensão do preenchimento da folha, é dado um exemplo na Figura 3-2.


	A	B	C	D	E	F	H	I
1			Tempos	para	execução			
2								
3		Cliente	Orçamento	Referência	Obra	Data	Diferencial (€)	
4							0,00	
5								
6		Valor		Previsto		Real		
7		Sector	Preço/hora (€)	Nº horas	Custo (€)	Nº horas	Custo (€)	
8		Projecto	25,00	0	0,00	0	0,00	
9		Programação	25,00	0	0,00	0	0,00	
10		Torno	27,50	0	0,00	0	0,00	
11		Desbaste	22,50	0	0,00	0	0,00	
12		Convencional	30,00	0	0,00	0	0,00	
13		CNC	40,00	0	0,00	0	0,00	
14		Rectificação	30,00	0	0,00	0	0,00	
15		Erosão fio	45,00	0	0,00	0	0,00	
16		Montagem	30,00	0	0,00	0	0,00	
17		Ensaio	40,00	0	0,00	0	0,00	
18				Sub-total	0,00		0,00	
19								
20				Matéria-prima	0,00		0,00	
21				Trat. Térmicos	0,00		0,00	
22				Extras	0,00		0,00	
23				Sub-total	0,00		0,00	
24								
25				TOTAL	0,00		0,00	
26								

Figura 3-1 – Modelo da Folha de Orçamento Previsto Vs Custo real


	A	B	C	D	E	F	H	I
1			Tempos	para	execução			
2								
3		Cliente	Orçamento	Referência	Obra	Data	Diferencial (€)	
4		M.C.Graça	513/05	22227536DA	410/05	2005 Novembro 03	12.444,80	
5								
6		Valor	72.000,00 €	Previsto		Real		
7		Sector	Preço/hora (€)	Nº horas	Custo (€)	Nº horas	Custo (€)	
8		Projecto	25,00	180	4.500,00	234	5.842,60	
9		Programação	25,00	60	1.500,00	81	2.031,48	
10		Torno	27,50	180	4.950,00	225	6.174,03	
11		Desbaste	22,50	60	1.350,00	70	1.575,92	
12		Convencional	30,00	60	1.800,00	127	3.796,15	
13		CNC	40,00	380	15.200,00	501	20.027,27	
14		Rectificação	30,00	180	5.400,00	173	5.182,60	
15		Erosão fio	45,00	140	6.300,00	197	8.871,50	
16		Montagem	30,00	200	6.000,00	396	11.880,93	
17		Ensaio	40,00	75	3.000,00	59	2.340,00	
18				Sub-total	50.000,00		67.722,48	
19								
20				Matéria-prima	10.000,00		7.929,98	
21				Trat. Térmicos	3.500,00		1.026,88	
22				Extras	8.500,00		7.765,46	
23				Sub-total	22.000,00		16.722,32	
24								
25				TOTAL	72.000,00		84.444,80	
26								

Figura 3-2 – Preenchimento do Custo Previsto

Como se pode verificar na Figura 3-2, são preenchidos os campos correspondentes ao número de horas previstas sendo essas horas multiplicadas pelo respectivo preço/hora de cada sector, onde o resultado será o custo de cada sector para a obra em questão. Seguidamente são preenchidos os campos de matéria-prima, tratamentos térmicos e extras, que serão os campos de operações externas, são operações subcontractadas pela empresa ou de compra. Com isto tem-se o orçamento concluído, visto que o total da obra será o somatório de todos os custos de cada sector (produção), mais o somatório das operações externas da empresa.

Será necessário ter em conta que nem sempre o valor orçamentado é o valor ao qual a obra é vendida ao cliente, mas o diferencial entre o orçamentado e o custo real será sempre calculado sobre o valor orçamentado, isto porque poderá haver algum tipo de negociação sobre o valor orçamentado, e nem sempre o campo “Valor” é igual ao campo “Total” do orçamento.

A segunda fase de preenchimento da referida folha de cálculo, é o preenchimento após a conclusão da obra. O preenchimento da folha é efectuado a partir dos custos totais de cada sector ao invés das horas totais como verificado na primeira fase do preenchimento. Este aspecto deve-se ao facto de que o cálculo feito na primeira fase é em base da média de custos do sector, enquanto na segunda fase o programa informático trata cada operário individualmente e cada um tem um preço/hora próprio. Por esta razão interessa o custo total do sector e não o número de horas, visto que o número de horas multiplicado pelo preço médio nunca iria dar o valor de acordo com a realidade. Para uma melhor compreensão do preenchimento do custo total, é dado um exemplo na Figura 3-3.


A	B	C	D	E	F	H	I
1		Tempos	para	execução			
2							
3	Cliente	Orçamento	Referência	Obra	Data	Diferencial (€)	
4	M.C.Graça	513/05	22227536DA	410/05	2005 Novembro 03	12.444,80	
5							
6	Valor	72.000,00 €	Previsto		Real		
7	Sector	Preço/hora (€)	Nº horas	Custo (€)	Nº horas	Custo (€)	
8	Projecto	25,00	180	4.500,00	234	5.842,60	
9	Programação	25,00	60	1.500,00	81	2.031,48	
10	Torno	27,50	180	4.950,00	225	6.174,03	
11	Desbaste	22,50	60	1.350,00	70	1.575,92	
12	Convencional	30,00	60	1.800,00	127	3.796,15	
13	CNC	40,00	380	15.200,00	501	20.027,27	
14	Rectificação	30,00	180	5.400,00	173	5.182,60	
15	Erosão fio	45,00	140	6.300,00	197	8.871,50	
16	Montagem	30,00	200	6.000,00	396	11.880,93	
17	Ensaio	40,00	75	3.000,00	59	2.340,00	
18			Sub-total	50.000,00		67.722,48	
19							
20			Matéria-prima	10.000,00		7.929,98	
21			Trat. Térmicos	3.500,00		1.026,88	
22			Extras	8.500,00		7.765,46	
23			Sub-total	22.000,00		16.722,32	
24							
25			TOTAL	72.000,00		84.444,80	
26							

Figura 3-3 – Preenchimento do Custo real

Como se pode verificar na Figura 3-3, e tal como já foi referenciado, não é preenchido o campo do número de horas mas sim o campo do custo de cada sector individualmente, isto por uma questão de coerência dos dados de custo por sector como já foi referido anteriormente. Tal como acontece aquando do preenchimento para o orçamento, depois de se ter todos os campos necessários preenchidos, tem-se o custo real calculado, visto que o total do custo real da obra será o somatório de todos os custos de cada sector (produção), mais o somatório das tarefas externas da empresa. O valor total do custo real será comparado com o valor total do custo previsto (orçamentado).

3.2 Folha de orçamento

A folha de orçamento apresentada na Figura 3-4 engloba os principais constituintes de uma ferramenta de estampar. Esta folha é um auxílio para determinar o número de horas para cada parte constituinte em cada sector individualmente.

	CNC	Conv.	Rect.	Fio	Torno	Mat.	T. Term.
Base							
Tecto							
P/ Pisa							
P/ Matriz							
Calços							
P/ Punções							
Placa Choque							
Matriz							
Pisa							
Punções							
Guias							
Ele. Dobra							
Extras							
TOTAL							

Figura 3-4 – Folha de Orçamento

Após o preenchimento da folha de orçamento da Figura 3-4, tem-se o total de horas para cada sector individualmente e posteriormente este valor será inserido na folha de cálculo própria, que será a folha de orçamento previsto vs custo real.

De notar que na empresa actualmente esta folha de orçamento nem sempre é utilizada devido ao escasso tempo útil, devido ao facto das exigências no tempo de resposta do orçamento por parte do cliente impossibilitarem uma utilização da referida folha.

4 Método de abordagem

4.1 *Apreciação dos dados de histórico*

Tal como referido anteriormente o estudo baseia-se no histórico da empresa. De referir que este histórico é constituído pelas horas previstas e pelo custo real de todas as ferramentas a serem alvo de estudo, conjuntamente com todos os projectos em formato CAD. Pelo facto de o estudo basear-se no histórico tem-se neste ponto uma decisão fulcral, quais serão os tipos de dados a serem utilizados, horas previstas ou custos reais. Constata-se que os dados dos custos reais não são coerentes, era impossível uma empresa subsistir com resultados negativos em todos os anos do histórico.

Numa análise sobre a origem de todos os dados, conclui-se que os dados relativos ao custo previsto eram reais e que esse custo era mesmo o preço de venda final. Logo, chega-se facilmente à conclusão que o problema dos dados estaria nos custos reais das obras. Este problema deve-se a vários factores, por exemplo o preço à hora que está a ser vendido ao cliente é o mesmo preço à hora que estão a ser calculados os custos de cada sector, o que não é o mais correcto. De facto, o preço à hora que é usado nos cálculos do orçamento e também do custo real, é um preço à hora calculado como sendo a média do custo de todos os operários pertencentes ao sector em questão, o que levanta também outro problema visto que o programa informático só dá o valor final da obra por sector e há operários dentro do mesmo sector com custo de hora diferente.

Existe também problemas de custos reais aquando da formação de operários, o que é algo corrente na empresa. O caso mais flagrante é a secção da montagem/ensaios visto ser um sector onde existe uma grande dependência de mão-de-obra dos operários. Neste sector também há operários que estão em formação e as horas desses operários também são contabilizadas como sendo horas de trabalho efectivo, isto porque as horas de formação deviam ser um custo independente do custo da ferramenta. Existe também o problema de ajustes na ferramenta após esta ser ensaiada pela primeira vez. Como normalmente esses ajustes são em grande parte efectuados em máquinas de fresagem CNC ou de electroerosão. Assim sendo o número de horas de trabalho das máquinas em questão e do sector da montagem (desmontagem e montagem dos constituintes da ferramenta a serem alvo de modificações) aumentam de forma significativa.

As máquinas CNC quando estão a trabalhar sem vigia, por exemplo à noite ou durante o fim-de-semana, os operadores mudam a programação da máquina para trabalhar a cerca de 70% para haver menos probabilidade de danos tanto na peça como na máquina caso haja algum problema. Aumentando assim o tempo da obra, em termos práticos é igual porque a máquina desligar a uma certa hora ou um pouco mais tarde desde que não seja durante o período laboral, não tem qualquer impacto visto a empresa não trabalhar por turnos, mas aumenta o número de horas o que faz aumentar o custo.

Relativamente às tarefas externas onde se enquadra a matéria-prima, os tratamentos térmicos, os gastos com produtos normalizados e outros, notou-se que existe sempre um diferencial positivo acentuado que tem a ver com vários factores. Um dos factores é o preço da matéria-prima e dos produtos normalizados. Aos clientes são dados os preços de tabela, enquanto na realidade para a empresa há sempre negociação no preço. Outro factor é quando existe menos carga de trabalho é normal ser a própria empresa a fabricar alguns dos produtos normalizados, diminuindo o valor das tarefas externas e aumentando o valor da produção interna.

Dentro deste panorama pode utilizar-se os dados do histórico dos orçamentos de três formas possíveis ou seguir por três caminhos diferentes, sendo os seguintes:

1. O primeiro caminho será utilizar unicamente os dados do orçamento previsto;
2. O segundo caminho será utilizar os dados do orçamento previsto e fazer correcções a esses dados tendo em conta o custo que a empresa teve nos vários sectores com a obra em específico (custo real);
3. O terceiro caminho será utilizar unicamente os dados dos custos reais em cada sector específico.

Dentro das hipóteses acima descritas, teoricamente o mais correcto era utilizar a segunda opção porque era usada mais que uma fonte de informação dos dados. Mas se for intenção de usar os valores do custo real é necessário fazer modificações na filosofia da obtenção dos dados, principalmente conseguir o número de horas real de trabalho por sector e não o custo por sector e, posteriormente a isso, fazer um projecto apoiado em contabilidade analítica para obter concretamente o custo de cada sector, onde este custo seria multiplicado pelo número de horas de trabalho para obter-se o custo real.

Dentro da realidade da empresa o caminho mais viável será o primeiro, por vários factores. Primeiro por saber-se ao certo o valor por hora facturado ao cliente e assim poder-se criar algo mais flexível onde o valor de hora poderá ser modificado a qualquer altura mantendo sempre os tempos de produção e, também porque neste momento são os únicos valores onde existe confiança para poder-se manipular de uma forma sustentada, sendo este o grande factor de escolha.

Assim, o sistema a desenvolver basear-se-á no orçamento empírico realizado na empresa (é uma informação real e consistente) e, portanto, comportará as aproximações e os desvios da orçamentação existente.

4.2 Objecto de estudo

Os dados a serem alvo de estudo são todos os disponíveis entre o ano 2000 e o ano 2010 inclusive, correspondentes a orçamentos/projectos de ferramentas. Portanto, pode considerar-se um estudo com dimensão infinita e não apenas um estudo exploratório.

Todos os itens e informação presente neste objecto de estudo teve que ser analisada por projecto individualmente. Um dos problemas encontrados foi o facto de a informação mais antiga não estar uniformizada, por exemplo a informação que existe no sector comercial tem a designação do cliente enquanto no sector técnico a informação tem a designação interna da empresa. Este factor para alguém que não está completamente dentro dos projectos e dos clientes da empresa torna-se demorado associar o projecto à designação do cliente, mas este aspecto já está melhorado internamente na empresa nas obras mais recentes.

Nem todas as obras existentes no histórico serão usadas para a criação do sistema, isto devido a algumas obras estarem incompletas em termos de informação, por exemplo obras onde o objectivo era a modificação, ou obras onde o projecto não foi desenvolvido na empresa, etc.

4.3 Metodologia seguida

Os dados disponíveis serão relacionados com as características próprias da peça e posteriormente serão criadas linhas de tendência entre as características da peça e da ferramenta, nas quais o seu agrupamento dará de forma sustentada o orçamento a partir da peça enviada pelo cliente para a empresa. O sistema de orçamentação segue uma linha de raciocínio de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 4-1.

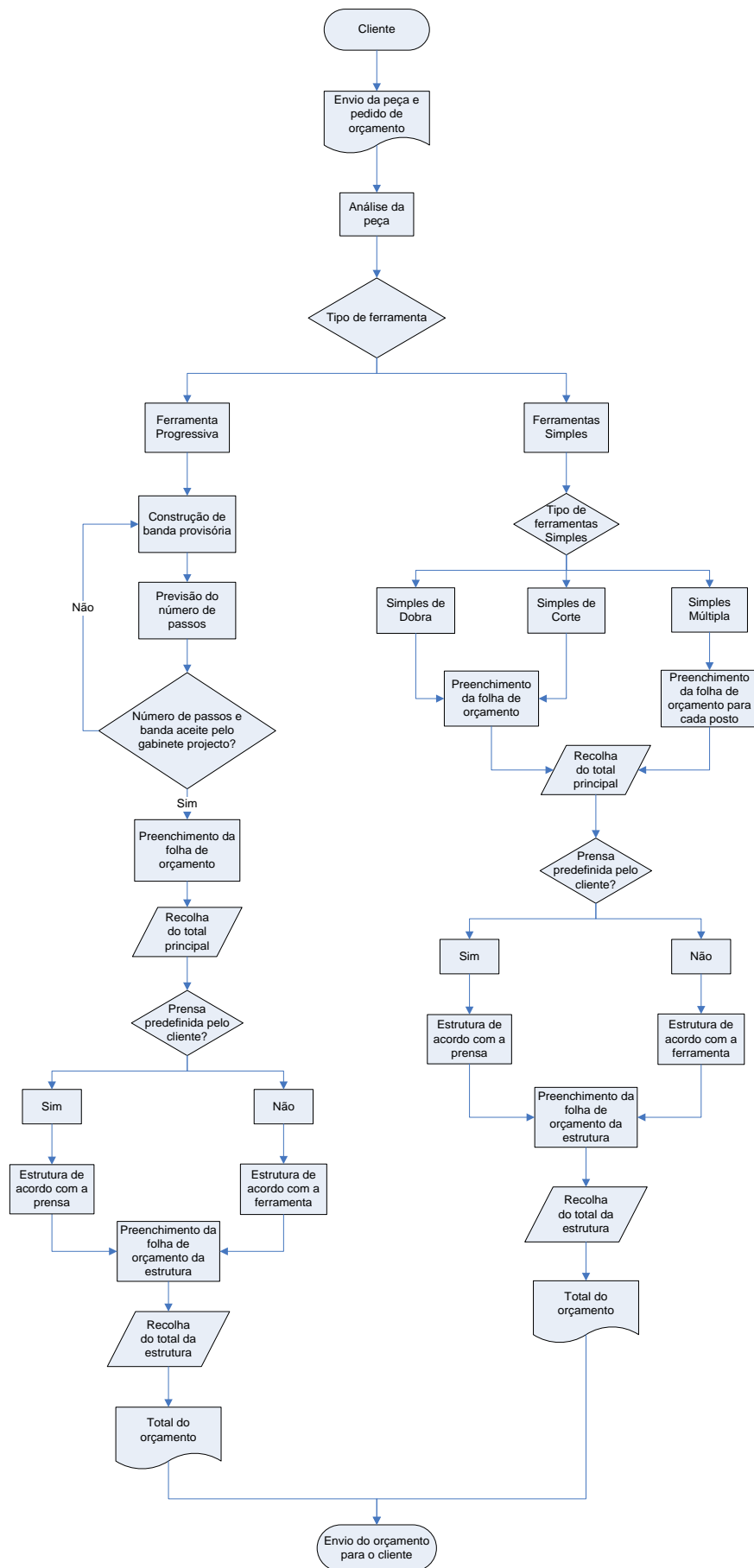


Figura 4-1 – Fluxograma de Orçamento

4.4 Definição de critérios para orçamentação por sector

Para um estudo mais aprofundado, necessitou-se de uma análise nos sectores de projecto e produção individualmente para a criação de critérios para o orçamento. Os critérios encontrados para cada sector individualmente são os seguintes.

- **Projecto:** O trabalho deste sector depende directamente da complexidade da peça e da ferramenta, do caderno de encargos do cliente, e dos extras que esta tem, por exemplo, se tem cunhas de activar/desactivar, etc.
- **Programação:** O principal critério será a forma das peças (caso tenham muitas peças com forma logo aumentará exponencialmente o orçamento), o tamanho e o número de peças da ferramenta serão outros critérios a considerar.
- **Torno:** Depende principalmente do número de peças de revolução que a ferramenta irá ter, por exemplo do número de colunas, de punções cilíndricos, de embutidos cilíndricos, etc.
- **Fresagem Desbaste:** Depende directamente do tamanho da ferramenta e do número de peças, visto que todas as peças passam pelo desbaste.
- **Fresagem Convencional:** Depende directamente do tipo de ferramenta e da quantidade de peças com forma, visto que quase todas as peças que não passem pelo CNC passam pela convencional.
- **Fresagem CNC:** Depende directamente da quantidade de peças com forma porque as peças com forma demoram muito tempo nas máquinas CNC, e do número de peças.
- **Rectificação:** Depende directamente se a ferramenta é de dobra ou de corte, visto que na rectificação passam quase todas as peças de corte sem ser “figuras”.
- **Electroerosão:** Depende directamente do tipo de ferramenta, se é de dobra ou de corte, visto que na electroerosão passam quase todas as peças de corte que tenham figuras.
- **Montagem:** Depende directamente do tamanho da ferramenta e da complexidade da mesma.
- **Ensaio:** Depende directamente do tipo de ferramenta e das tolerâncias em causa. As ferramentas de corte são muito mais simples de ensaiar.
- **Matéria-prima:** Depende directamente do volume da ferramenta, onde o cálculo é feito a partir de 60%-65% do bloco compacto e de um preço médio de 3,50€ por quilo.
- **Tratamentos Térmicos:** Depende directamente da quantidade e do peso das matrizes e dos punções, onde o cálculo será feito a 4,00€ por quilo.

- **Extras:** Depende directamente do número de cilindros ou molas necessários (onde tem relação com a espessura da chapa), dos casquilhos, das colunas, do próprio transporte da ferramenta, etc.

O estudo irá passar essencialmente pelos critérios acima citados e não só, isto, para um estabelecimento de relações entre as características da ferramenta e as horas de produção e o custo das tarefas externas.

5 Caracterização das operações e das ferramentas de estampagem

5.1 Operações de estampagem

Basicamente, as ferramentas de estampagem realizam as seguintes operações:

- Corte;
- Dobra;
- Embutido.

As duas primeiras operações são normalmente realizadas a frio, a operação de embutido pode eventualmente ser realizado a quente, de acordo com as necessidades técnicas.

5.1.1 Corte

A operação de corte corresponde à obtenção de contornos geométricos determinados, a partir de chapas, submetidas à acção de uma ferramenta ou punção de corte, aplicada por intermédio de uma prensa que exerce força sobre a chapa apoiada numa matriz. No instante em que o punção atravessa a matriz, o esforço de compressão converte-se em esforço de corte e ocorre o desprendimento brusco de um pedaço de chapa, como se pode verificar na Figura 5-1.

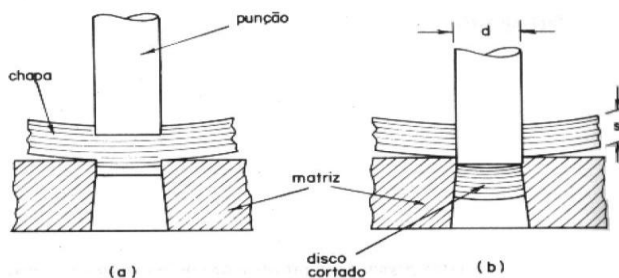


Figura 5-1 – Corte de Chapa [Ref. 12]

O punção deve apresentar uma secção conforme o contorno externo desejado na peça a extrair da chapa, no caso de ser desejado um contorno interno, este é dado pela matriz.

5.1.2 Dobra

Em operações de dobra, e para a obtenção de elementos relativamente curtos, usam-se matrizes montadas em prensas de estampagem. A Figura 5-2 mostra esquematicamente os principais componentes de uma dessas matrizes.

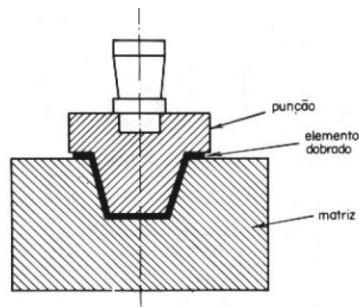


Figura 5-2 – Dobra de Chapa [Ref. 12]

O punção e a matriz devem ter a forma que se pretende aplicar na peça e como se pode verificar na Figura 5-2. Dois factores muito importantes na operação de dobra são o raio de curvatura e a elasticidade do material, para evitar que a peça se rompa na altura em que o punção elasticamente dobra a peça em conjunto com a matriz.

5.1.3 Embutido

O embutido é a operação de estampagem em que as chapas metálicas são conformadas na forma de um copo, ou seja, um objecto oco. As aplicações mais comuns correspondem a cápsulas, carroçarias de automóveis, estojos, tubos, etc.

O embutido produz objectos ocos a partir de chapas planas sem modificar a espessura destas, realizando-se a deformação em uma ou mais fases, como se pode ver na Figura 5-3.

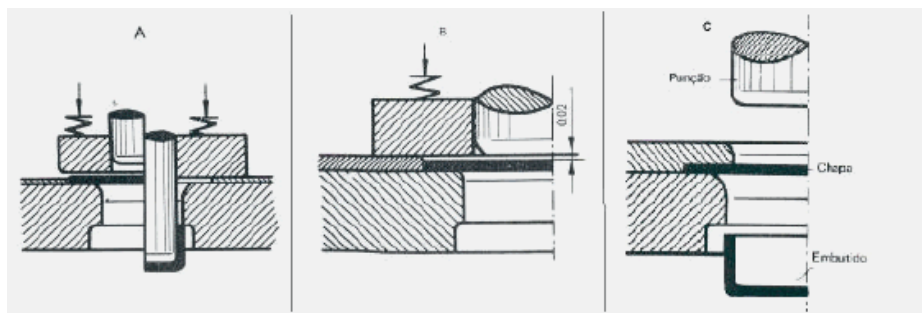


Figura 5-3 – Embutido de Chapa [Ref. 12]

5.2 Classificação das ferramentas de estampagem

Caracterizando as ferramentas de acordo com os projectos desenvolvidos na empresa e tendo em atenção a caracterização geral das ferramentas, existem dois grandes grupos de ferramentas, as simples e as progressivas.

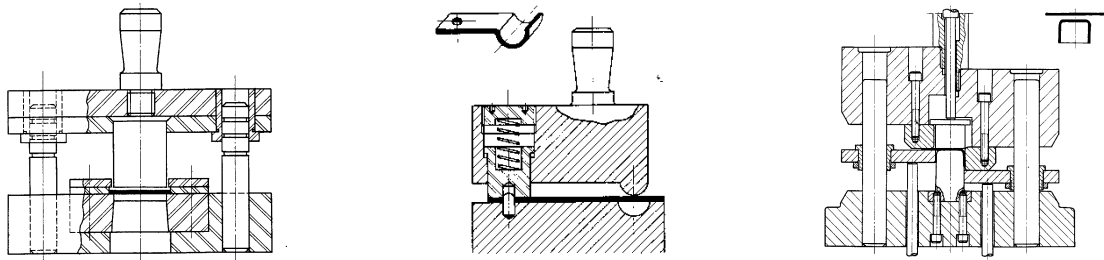
As diferenças entre as ferramentas progressivas e as ferramentas simples estão fundamentalmente no seu modo de trabalhar a peça. Enquanto a ferramenta progressiva trabalha por passos numa fita de chapa que pode ser um rolo e que faz várias operações à chapa até atingir a forma final, a ferramenta simples trabalha por postos, uma ferramenta simples executa uma única operação que poderá ser de corte ou de dobra, a chapa é inserida na ferramenta de uma forma manual (operário) ou automática (braço robô) e depois da

operação é retirada da mesma forma. Porém, existem ferramentas simples múltiplas ou compostas, onde uma única ferramenta poderá ter mais do que um passo simples.

As ferramentas podem ser classificadas de acordo com a função, isto é, pela ou pelas operações que executam:

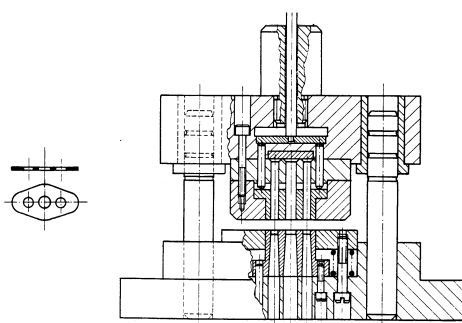
- Simples - executam uma operação apenas (Figura 5-4);
- Combinadas - executam duas ou mais operações ao mesmo tempo (Figura 5-5);
- Progressivas - executam operações que se sucedem com o avanço da fita (**Erro! A origem da referência não foi encontrada. e Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

A classificação das ferramentas segue a gíria da indústria, e por conseguinte a da empresa, para possibilitar o diálogo e o tratamento de informação na empresa.

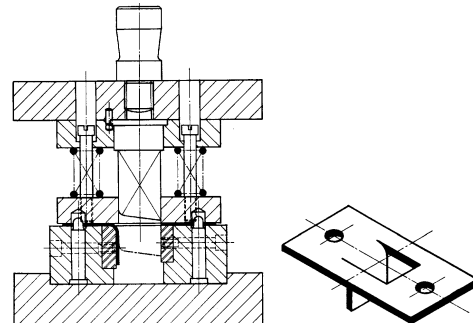


a) Ferramenta simples de corte b) Ferramenta simples de Dobra c) Ferramenta simples de embutir

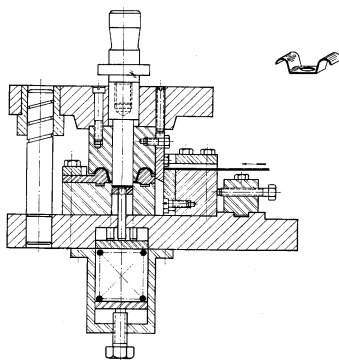
Figura 5-4 – Ferramentas Simples [Ref. 10]



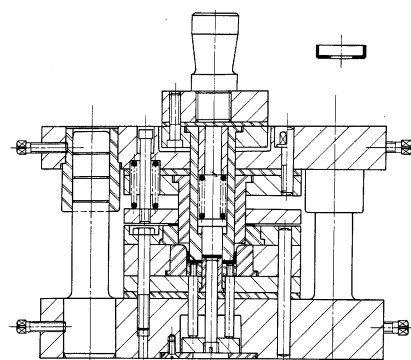
Ferramenta composta de corte e furar



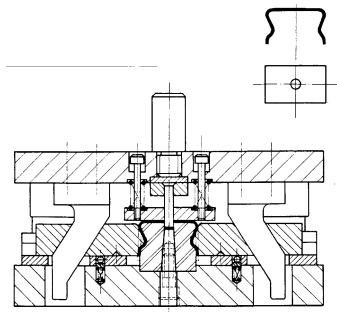
Ferramenta composta de cortar e dobrar



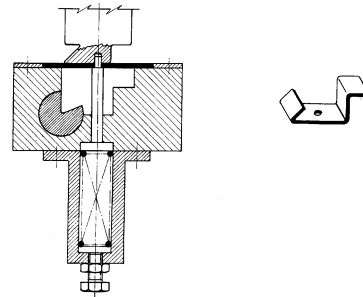
Ferramenta composta de cortar, dobrar e furar



Ferramenta composta de cortar, embutir e furar



Ferramenta composta de dobragem lateral e furar



Ferramenta de dobrar com matriz oscilante

Figura 5-5 – Ferramentas Compostas [Ref. 10]

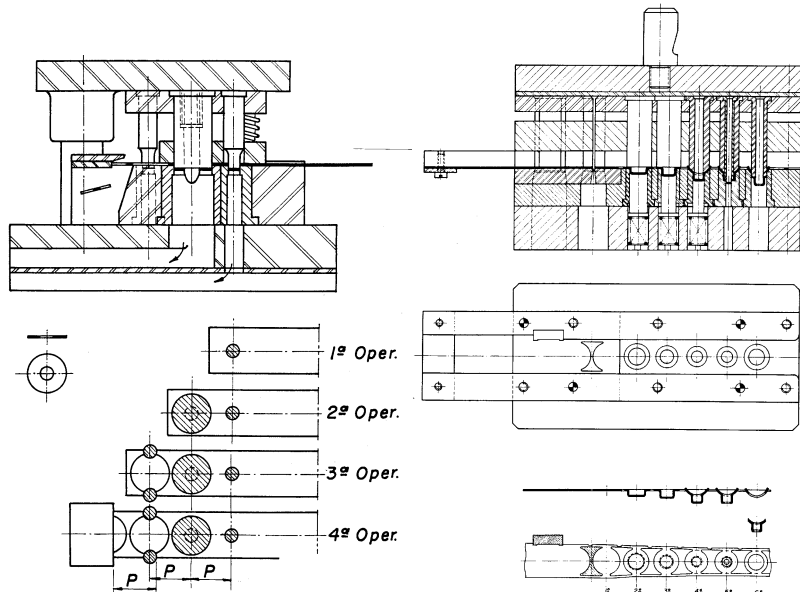


Figura 5-6 - Ferramenta progressiva de corte [Ref. 10]

Figura 5-7 - Ferramenta progressiva de corte e embutir [Ref. 10]

A utilização de um ou outro tipo de ferramenta está dependente da peça em questão e das necessidades do cliente, a ferramenta simples é mais adequada para peças complexas, visto que trabalhar posto a posto tem uma maior flexibilidade e, em termos de fabrico existe uma menor complexidade das próprias ferramentas.

Após uma análise às ferramentas projectadas e fabricadas na empresa criou-se os seguintes grupos e subgrupos para uma melhor análise futura das mesmas:

- Ferramentas Simples:
 - Ferramentas Simples de corte;
 - Ferramentas Simples de dobra;
 - Ferramentas Simples múltiplas;
- Ferramentas Progressivas.

De notar que o subgrupo “ferramentas simples múltiplas” é um grupo onde se inclui os orçamentos dedicados a mais do que um posto de ferramentas simples. Por exemplo, o orçamento foi feito para uma peça e para executar essa peça é necessário um conjunto de ferramentas simples, visto que as ferramentas simples só executam uma operação, e para a realização de uma peça é preciso sempre mais do que uma única operação, logo, é necessário mais do que uma ferramenta simples.

6 Ferramentas simples

6.1 *Dados de orçamento de ferramentas simples*

Os dados da Tabela 6-1 foram retirados de todas as folhas de orçamento existentes relativas a obras de ferramentas simples.

De notar que havia ferramentas em que o orçamento tinha sido efectivamente feito para duas ferramentas em vez de uma, como era inicialmente apontado. Nestes casos decidiu-se que se iria usar valores como se fosse só para uma ferramenta. Para a produção será 70% do valor orçamentado inicialmente visto que produzir duas ferramentas ao mesmo tempo existe ganhos de produção. Nos dados relativos a matéria-prima, extras e tratamento térmico será de 50% do valor orçamentado inicialmente. Em todas as tabelas relativas a orçamentação este factor está explícito nas linhas a cinzento, por exemplo a obra O441 foi um orçamento executado para duas ferramentas, assim, a linha a cinzento contabiliza somente 70% para a produção e 50% para o resto tal como já foi referido.

De verificar que os dados relativos às tarefas externas estão em unidade monetária, mas não quer dizer que não possa ser manipulável quando houver subidas ou descidas do valor praticado pelos fornecedores.

Foram agrupados todos os dados de cada sector e determinado a sua média e desvio padrão para se saber até que ponto os dados podem ser manipulados, ver Tabela 6-2.

Para o caso dos dados obtidos nota-se que o desvio padrão é bastante alto, próximo da média de cada sector, o que, quer dizer que os dados a trabalhar são sensíveis a pequenas mudanças. Portanto, devido à sensibilidade dos dados uma pequena mudança pode levar a um resultado discrepante comparando com o resultado antes da mudança.

Para se ter uma melhor ideia da distribuição do número de horas e dos valores monetários para cada sector ou parte da obra, pode verificar-se na Figura 6-1, Figura 6-2 e Figura 6-3 que relacionam em termos percentuais a ferramenta com o tempo e com o custo para três agrupamentos diferentes de sectores

De notar que alguns sectores que inicialmente pareciam ser menos importantes, afinal têm uma importância igual ou mesmo superior a outros que pareciam ser mais importantes. É, por exemplo o caso do desbaste e da fresagem convencional, que em termos de horas tem uma percentagem muito superior ao esperado.

Tabela 6-1 - Dados de Orçamento ferramentas simples

Obra	Projecto (h)	Programação (h)	Torno (h)	Desbaste (h)	Convencional (h)	CNC (h)	Rectificação (h)	Erosão Fio (h)	Montagem (h)	Materia-Prima	Tratamentos Térmicos	Extras
K382	100		40	100	80	120	80	80	160	5.000,00 €	1.750,00 €	2.500,00 €
M377	80	24	40	24	24	40	40	50	80	3.000,00 €	500,00 €	2.000,00 €
M378	60	16	20	20	20	35	20	20	60	2.000,00 €	250,00 €	3.000,00 €
M386	40	20	24	24	24	40	24	40	60	1.500,00 €	500,00 €	1.000,00 €
M534	80	40	40	60	40	120	40	80	80	3.500,00 €	1.500,00 €	2.000,00 €
N018	60	20	24	24	32	32	32	40	60	1.500,00 €	500,00 €	1.000,00 €
N111	60	16	20	16	16	60	16	16	60	2.000,00 €	250,00 €	3.000,00 €
N323	120	40	60	40	40	80	40	70	80	3.000,00 €	500,00 €	1.880,00 €
O102	30	8	12	16	16	18	12	12	32	1.700,00 €	600,00 €	1.000,00 €
O349	50	20	30	30	25	60	30	30	60	2.000,00 €	550,00 €	4.000,00 €
O359	120	30	60	40	40	130	60	100	60	2.100,00 €	500,00 €	1.400,00 €
	112	35	84	56	56	140	84	126	84	1.000,00 €	225,00 €	750,00 €
O441	160	50	120	80	80	200	120	180	120	2.000,00 €	450,00 €	1.500,00 €
O442	100	30	20	20	20	100	20	20	60	650,00 €	200,00 €	2.000,00 €
O465	60	20	30	30	40	80	40	40	60	1.000,00 €	300,00 €	500,00 €
P046	60	20	30	30	40	80	50	50	57	1.300,00 €	450,00 €	820,00 €
P051	120	30	60	40	40	130	60	100	97	2.100,00 €	500,00 €	1.420,00 €
P212	80	15	40	30	30	80	40	30	82	6.000,00 €	2.500,00 €	3.020,00 €
	126	56	84	84	84	196	98	98	133	2.500,00 €	800,00 €	1.200,00 €
P353	180	80	120	120	120	280	140	140	190	5.000,00 €	1.600,00 €	2.400,00 €
P354	120	40	50	50	40	120	50	40	75	3.000,00 €	800,00 €	2.000,00 €
P389	50	18	30	30	50	80	50	50	67	1.000,00 €	450,00 €	820,00 €
Q228	160	60	80	40	60	200	70	60	120	3.000,00 €	500,00 €	1.500,00 €

Tabela 6-2 - Média e Desvio Padrão para ferramentas simples

	Projecto (h)	Programação (h)	Torno (h)	Desbaste (h)	Fresagem Convencional
Média	93	31	49	44	44
Desvio Padrão	41,25	17,66	30,72	27,97	25,88
	Fresagem CNC (h)	Rectificação (h)	Electroerosão (h)	Montagem (h)	
Média	105	53	64	84	
Desvio Padrão	65,21	33,08	43,42	37,32	

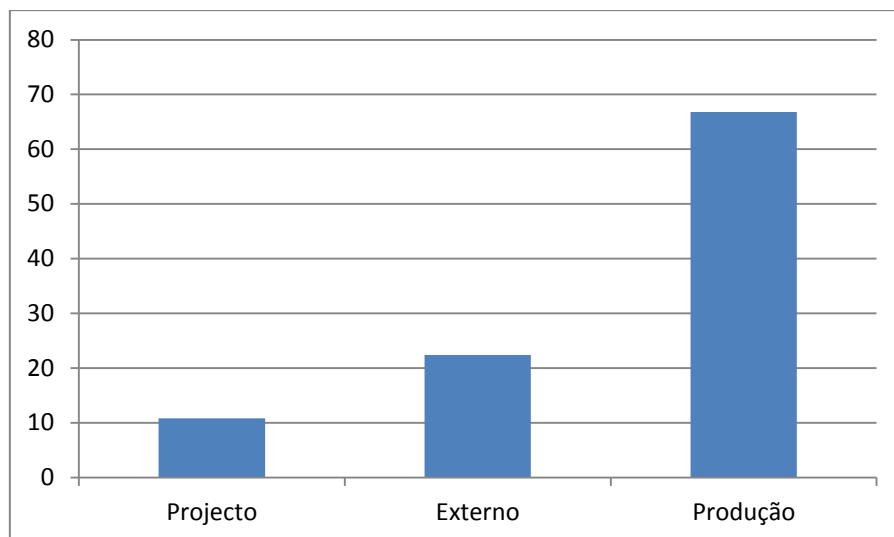


Figura 6-1 – Distribuição percentual dos valores monetários para ferramentas simples

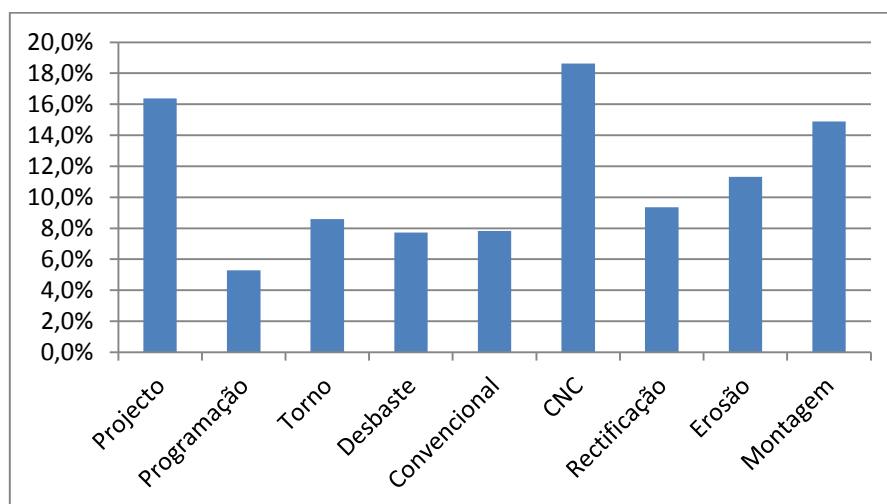


Figura 6-2 – Distribuição percentual de horas orçamentadas para ferramentas simples

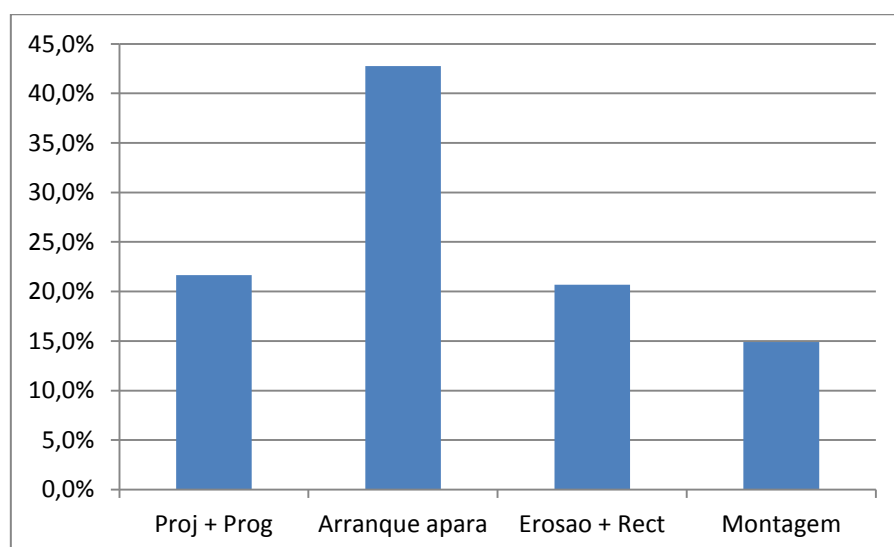


Figura 6-3 – Distribuição percentual conjunta de horas orçamentadas para ferramentas simples

6.2 Estudo de itens relevantes nas ferramentas simples

6.2.1 Estudo Inicial

Depois de se ter feito a divisão em grupos das ferramentas, começou-se por estudar as ferramentas simples, pelo facto que estas ferramentas em princípio serão as que têm menos variáveis a serem estudadas. Começou-se por estudar alguns itens para as ferramentas simples julgados relevantes, a saber:

- Área planificada da peça – Área da peça quando está planificada;
- Perímetro de corte – É o perímetro de corte da peça ou então o somatório de todos os perímetros de corte caso seja mais do que um corte na mesma peça;
- Espessura da chapa;
- Número de cortes separados – O número de cortes separados também pode ser entendido como o número de punções, porque cada corte usa um punção.
- Sentido de corte – O sentido de corte é basicamente o número de graus que o corte faz com o sentido de fecho da ferramenta, o mais usual é ser o corte no sentido de fecho da ferramenta, logo um corte a 0°.
- Tipo de corte – Forma geométrica que o punção poderá ter.
 - Rectos;
 - Circulares;
 - Outros.

Ficando então a Tabela 6-3 com os dados referentes aos itens estudados nesta fase do trabalho.

Onde para o tipo de corte tem-se:

A – Rectos;

B – Circulares;

C – Outros.

Tabela 6-3 – Itens Relevantes Iniciais de ferramentas simples

Obra	Área Planificada (mm ²)	Perímetro de Corte (mm)	Espessura da Chapa (mm)	Número Cortes Separados	Sentido do Corte (°)*	Tipo Corte
K382	77400	390	3,0	4	90,0	B
M377	46760	620	2,5	15	0,0	A + D
M378	46760	60	2,5	1	55,0	A
M386	5750	194	3,5	6	0,0	A + D
M534	16520	660	2,0	5	0,0	D
N018	5000	183	4,0	4	0,0	A + D
N111	46760	38	3,0	1	60,0	A
N323	46760	600	3,0	18	0,0	A + D
O102	22800	90	3,0	4	0,0	A + D
O349	471	476	0,7	2	90,0	D
O359	44413	751	2,5	20	0,0	A + D
O441	58965	644	3,0	15	0,0	A + D
O442	58965	61	3,0	1	64,5	A
O465	6820	176	4,0	6	0,0	A + D
P046	6280	245	4,0	8	0,0	A + D
P051	53175	742	2,5	16	0,0	A + D
P212	6345	109	2,3	3	0,0	A + D
P353	58965	630	2,5	13	11x0,0 + 2x63,0	A
P354	58965	38	2,5	1	60,0	A
P389	7145	269	4,0	7	0,0	A + D
Q228	43190	672	2,5	15	13x0,0 + 2x45,0	A + D

Estes itens serão comparados com os dados achados convenientes do orçamento, para encontrar relações entre os itens e os dados orçamentados.

De seguida mostra-se algumas relações retiradas nesta fase do estudo (Figura 6-4 e Figura 6-5). Pode-se observar que o coeficiente de correlação é muito baixo para uma relação linear, mas nesta fase não será propriamente o mais importante, interessa mais antever se existe ou não pontos dispersos de uma forma lógica e não pontos como uma nuvem sem qualquer relação entre eles, para se aprofundar mais o estudo com outro tipo de variáveis.

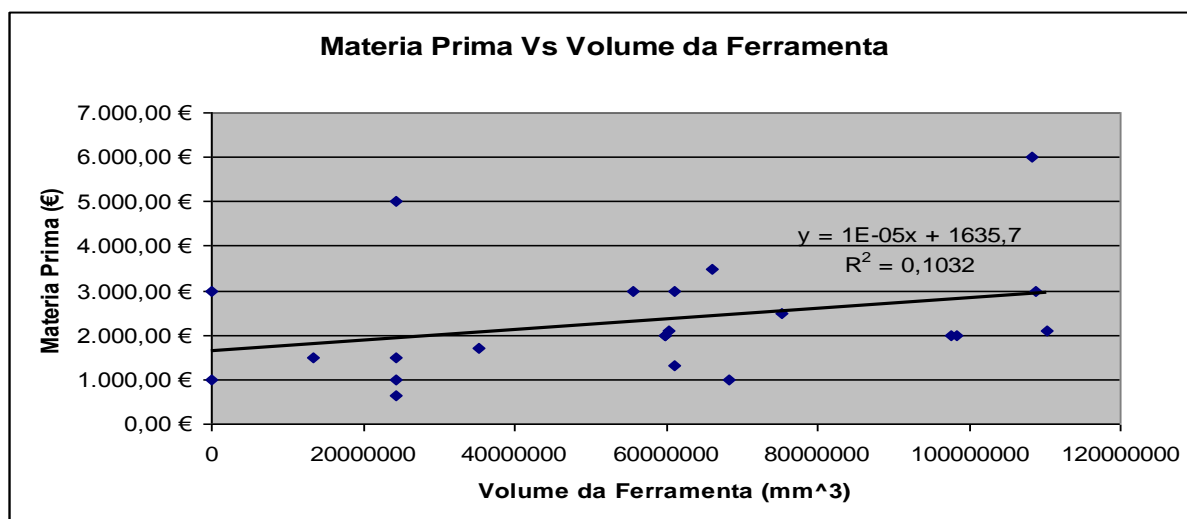


Figura 6-4 – Matéria-prima Vs Volume da Ferramenta para ferramentas simples

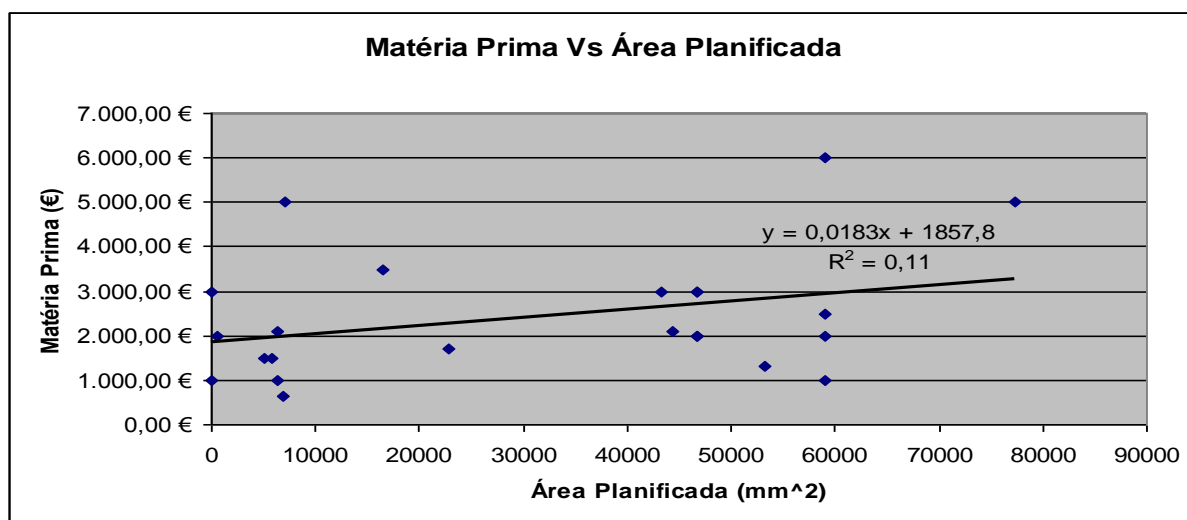


Figura 6-5 – Matéria-prima Vs Área Planificada para ferramentas simples

Depois de se ter feito algumas relações entre itens e os dados de orçamento, ficou-se com a ideia que aumentando a lista de itens com um estudo mais aprofundado nos projectos poderia começar-se a chegar a alguns dados mais interessantes.

6.2.2 Estudo Final

Com um estudo mais aprofundado sobre os projectos em causa criou-se um item muito importante neste caso, que será a área de orçamento. A área de orçamento em termos simplistas será a área a partir de um rectângulo que envolva a peça com a forma inicial que será trabalhada. A Figura 6-6 ilustra o que será a área de orçamento.

No caso apresentado, a ferramenta simples de corte irá executar três furos nas abas de cima da peça, furos esses que ainda não estão apresentados visto que a área de orçamento é calculado com a forma inicial antes da operação ser executada. A área de orçamento neste caso será a figura rectangular que está representada a preto, é uma figura geométrica que envolve a peça toda pela face que será trabalhada e aumentada 50mm para cada lado.

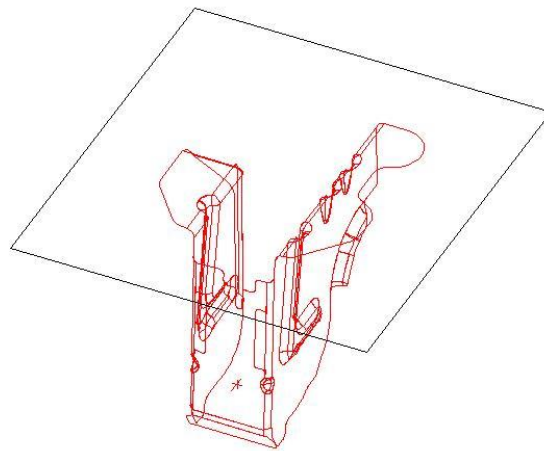


Figura 6-6 – Área de Orçamento

Após um estudo mais aprofundado dos itens mais relevantes como já apresentado, alargou-se a lista de itens para a seguinte lista:

- Área planificada da peça – É a área da peça quando está planificada;
- Área de orçamento – Já apresentada anteriormente;
- Perímetro de corte – É o perímetro de corte da peça ou então o somatório de todos os perímetros de corte caso seja mais do que um corte na mesma peça;
- Espessura da chapa;
- Volume da ferramenta – Volume da ferramenta quando fechada, incorporando todos os elementos da ferramenta, incluindo a estrutura da mesma;
- Volume principal da ferramenta – Volume da ferramenta principal quando fechada, ao contrário da anterior, este volume só incorpora o “miolo” da ferramenta. A estrutura, a base e o tecto da ferramenta não incorporam este volume.
- Número de cortes separados – O número de cortes separados também pode ser entendido como o número de punções, porque cada corte usa um punção.

- Forma – É interessante saber se as matrizes ou os punções têm forma para apoiar a peça porque irá ter uma grande influência no sector da maquinação CNC e no sector da programação.
- Sentido de corte – O sentido de corte é basicamente o número de graus que o corte faz com o sentido de fecho da ferramenta, o mais usual é ser o corte no sentido de fecho da ferramenta, logo um corte a 0°.
- Tipo de corte – É a forma geométrica que o punção poderá ter.
 - Rectos;
 - Circulares;
 - Outros.

Ficando então a Tabela 6-4 com os dados referentes aos itens estudados.

Neste estudo foi também criado outros itens, que são o volume dos constituintes principais da ferramenta, tais como o volume da base, o volume do tecto, o volume do porta punções, o volume do porta-matriz, etc. Mas estes itens foram entretanto abandonados porque o volume principal da ferramenta tem um coeficiente de correlação extremamente forte e não era necessário aprofundar mais esta matéria, visto que em termos de nível de confiança final era melhor haver um item com um coeficiente forte do que vários subitens menos relevantes.

6.3 *Cálculo do orçamento de ferramentas simples*

6.3.1 Factores de cálculo

Todos os factores de cálculo futuramente representados neste estudo foram obtidos de forma empírica. Através de um estudo minucioso a todos os projectos e todos os orçamentos, e também com a colaboração dos profissionais de cada sector em questão, afim de saber-se quais os factores que poderiam influenciar o tempo de execução dependendo da ferramenta de estampar.

Existiu a tentativa de conseguir os factores a partir de cálculos matemáticos, usando para o efeito cálculo estatístico e Matlab, mas os resultados não foram satisfatórios. Isto, por causa do grande nível de incerteza inserido nos cálculos. Portanto, a melhor solução foi seguir um cálculo empírico em conjunto com a experiencia da empresa.

Os factores encontrados para o tipo de ferramentas em estudo são, o factor de complexidade da peça, o factor de espessura de chapa, o factor da forma da peça e o factor do número de punções.

Tabela 6-4 – Itens Relevantes para ferramentas simples

Obra	Área Planificada (mm^2)	Área Orçamento (mm^2)	Perímetro de Corte (mm)	Espessura da Chapa (mm)	Volume da Ferramenta (mm^3)	Volume Principal da Ferramenta (mm^3)	Número Cortes Separados	Forma	Sentido do Corte (°)*	Tipo Corte
K382	77400	188243	390	3,0	346150000		4	0%	90,0	B
M377	46760	118336	620	2,5	55575000	16650000	15	0%	0,0	A + D
M378	46760	118336	60	2,5	59856000		1	0%	55,0	A
M386	5750	47895	194	3,5	24381250	5628250	6	0%	0,0	A + D
M534	16520	56441	660	2,0	108300000	27390000	5	100%	0,0	D
N018	5000	47663	183	4,0	24381250	5393250	4	0%	0,0	A + D
N111	46760	118336	38	3,0	59856000		1	0%	60,0	A
N323	46760	118336	600	3,0	55575000	16650000	18	0%	0,0	A + D
O102	22800	77468	90	3,0	35250000	5828355	4	0%	0,0	A + D
O349	471	63504	476	0,7	98406000		2	100%	90,0	D
O359	44413	114109	751	2,5	55575000	16650000	20	0%	0,0	A + D
O441	58965	139876	644	3,0	68229000	21386000	15	0%	0,0	A + D
O442	58965	140625	61	3,0	97556000		1	0%	64,5	A
O465	6820	55630	176	4,0	24381250	6262750	6	0%	0,0	A + D
P046	6280	54844	245	4,0	24381250	6262750	8	0%	0,0	A + D
P051	53175	129744	742	2,5	55575000	16650000	16	0%	0,0	A + D
P212	6345	54405	109	2,3	110250000	7026688	3	0%	0,0	A + D
P353	58965	139129	630	2,5	108427500		13	0%	11x0,0 + 2x63,0	A
P354	58965	139129	38	2,5	75400000		1	0%	60,0	A
P389	7145	56423	269	4,0	24381250	6262750	7	0%	0,0	A + D
Q228	43190	111890	672	2,5	108704000		15	0%	13x0,0 + 2x45,0	A + D

Factor de Complexidade	Nível 1 Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Nível 2 Ferramenta de corte simples a 0°	Nível 3 Ferramenta com um único corte em ângulo	Nível 4 Ferramenta com vários cortes com ângulo	Nível 5 Ferramenta com outros tipos de corte
Volume da ferramenta	1	1	2	4	4
Projecto	1	1	1	0.7	0.3
Programação	1	1	1	0.3	0.4
Torno	1	1	1	0.3	0.3
Desbaste	1	1	1	2	1.5
Convencional	1	1	1	0.5	0.3
CNC	1	1	1	0.6	0.8
Rectificação	1	1	1	2	0.1
Erosão fio	1	1	1	2	0.5
Montagem	1	1	1	1	0.6
Matéria-prima	1	1	1	1	2
Tratamento térmico	1	1	1	1.5	2
Extras	1	1	1	1.5	1.5

Tabela 6-5 – Factor de complexidade de ferramentas simples

Tabela 6-6 – Factor de espessura de chapa de ferramentas simples

Factor da espessura da chapa	
Extras	Factor = (esp. da chapa / 10) + 1

Tabela 6-7 – Factor de forma de ferramentas simples

Factor de forma	Não	Sim
Programação	1	2
Convencional	1	2
CNC	1	2

Tabela 6-8 – Factor de punções de ferramentas simples

Factor de punções	NP < 10	NP >= 10
Erosão a fio	1	2
Tratamento térmico	1	0.6
Extras	1	1.5

Onde:

NP – Número de punções da ferramenta simples.

6.3.2 Cálculo do volume da ferramenta

Corte a 0º

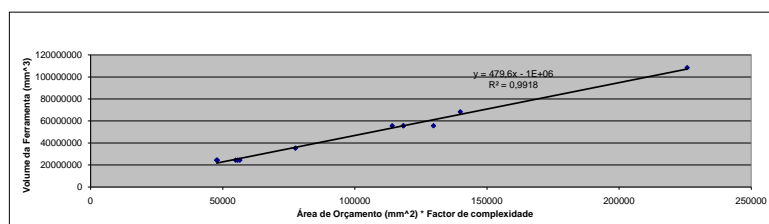


Figura 6-7 – Cálculo volume ferramenta de ferramentas simples (corte a 0º)

$$Volume = 479,6 * (AreaOrçamento) * FC - 1 * 10^6$$

$$r^2 = 0,9918$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

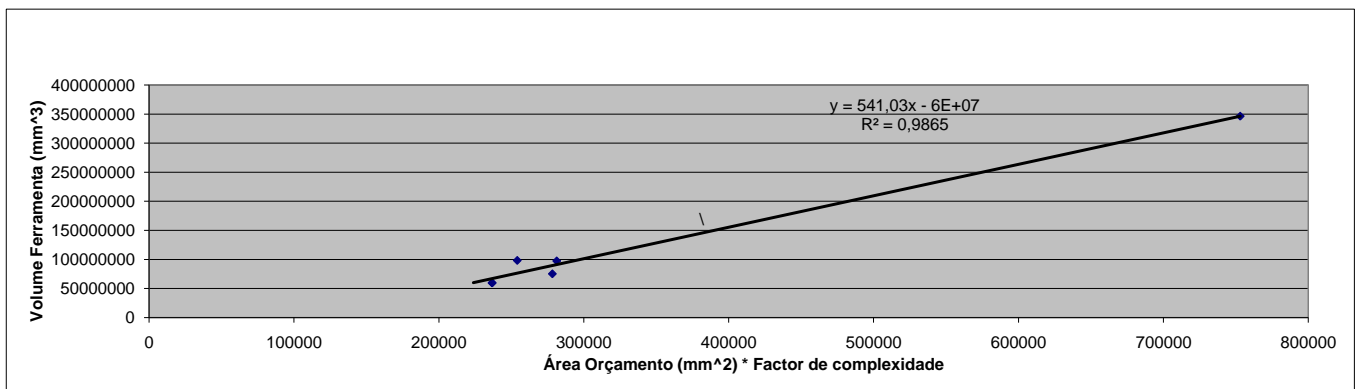


Figura 6-8 – Cálculo Volume ferramenta de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Volume = 541,03 * (AreaOrçamento) * FC - 6 * 10^7$$

$$r^2 = 0,9865$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta simples

Tabela 6-9 – Factor complexidade de ferramentas simples (volume ferramenta)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Volume da ferramenta	1	1	2	4	4

Testes – Avaliação do volume da ferramenta

Tabela 6-10 – Testes do cálculo volume de ferramenta de ferramentas simples

Obra	Volume da Ferramenta (mm ³)	Nível Complexidade	Factor Complexidade	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Erro (%)
K382	346150000	4	4	347380008	0%
M377	55575000	1	1	55753946	0%
M378	59856000	3	2	68046652	14%
M386	24381250	1	1	21970648	-10%
M534	108300000	5	4	107276031	-1%
N018	24381250	1	1	21859309	-10%
N111	59856000	3	2	68046652	14%
N323	55575000	1	1	55753946	0%
O102	35250000	2	1	36153845	3%
O349	98406000	4	4	77430276	-21%
O359	55575000	1	1	53726600	-3%
O441	68229000	1	1	66084530	-3%
O442	97556000	3	2	92164688	-6%
O465	24381250	1	1	25679908	5%
P046	24381250	1	1	25303413	4%
P051	55575000	1	1	61225242	10%
P212	110250000	5	4	103370552	-6%
P353	108427500	3	2	90545926	-16%
P354	75400000	3	2	90545926	20%
P389	24381250	1	1	26060289	7%
Q228	108704000	3	2	61071964	-44%

Pode-se comparar na Tabela 6-10 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a Obra Q228, que dá um desvio de 44%.

6.3.3 Cálculo do tempo de projecto

Corte a 0°

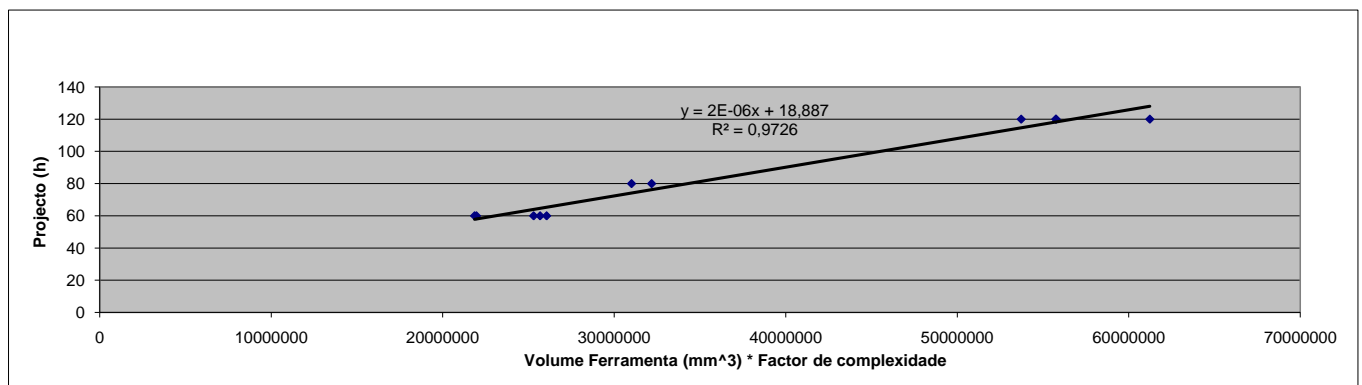


Figura 6-9 – Cálculo projecto de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Pr ojecto = 2 * 10^{-6} * (Volume) * FC + 18,887$$

$$r^2 = 0,9726$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

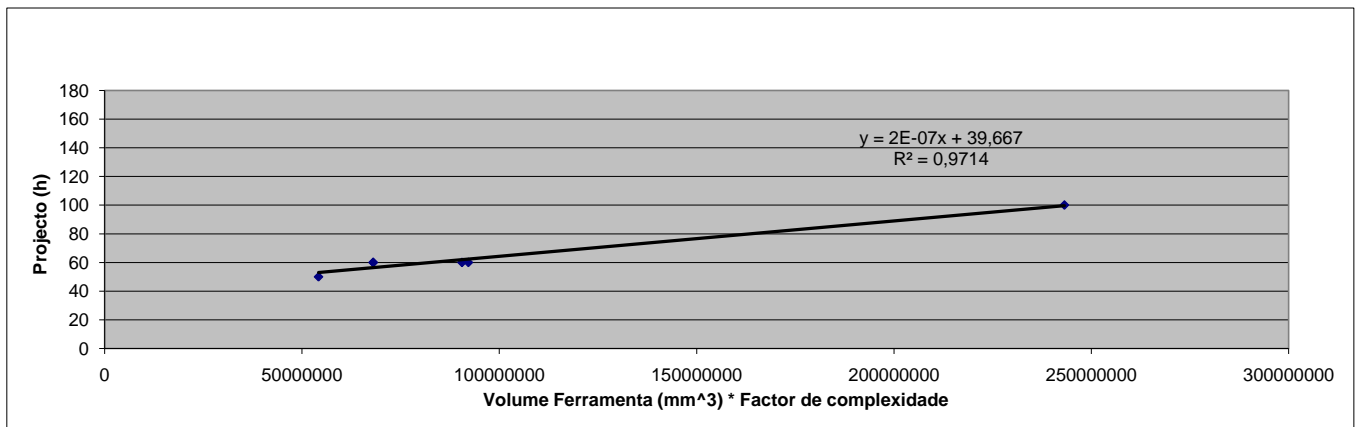


Figura 6-10 – Cálculo projecto de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Pr_{ojecto} = 2 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 39,667$$

$$r^2 = 0,9714$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-11 – Factor complexidade de ferramentas simples (projecto)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Projecto	1	1	1	0.7	0.3

Testes – Avaliação das horas de projecto

Tabela 6-12 – Teste do cálculo projecto de ferramentas simples

Obra	Projecto (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Projecto Calculado (h)	Erro
K382	100	347380008	4	0,7	88	-12%
M377	120	55753946	1	1	130	9%
M378	60	68046652	3	1	53	-11%
M386	60	21970648	1	1	63	5%
M534	80	107276031	5	0,3	83	4%
N018	60	21859309	1	1	63	4%
N111	60	68046652	3	1	53	-11%
N323	120	55753946	1	1	130	9%
O102	30	36153845	2	1	91	204%
O349	50	77430276	4	0,7	51	1%
O359	120	53726600	1	1	126	5%
O441	117	66084530	1	1	151	29%
O442	60	92164688	3	1	58	-3%
O465	60	25679908	1	1	70	17%
P046	60	25303413	1	1	69	16%
P051	120	61225242	1	1	141	18%
P212	80	103370552	5	0,3	81	1%
P353	126	90545926	3	1	58	-54%
P354	60	90545926	3	1	58	-4%
P389	60	26060289	1	1	71	18%
Q228	160	61071964	3	1	52	-68%

Pode-se comparar na Tabela 6-12 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 que dá um desvio de 68%

6.3.4 Cálculo do tempo de programação

Corte a 0°

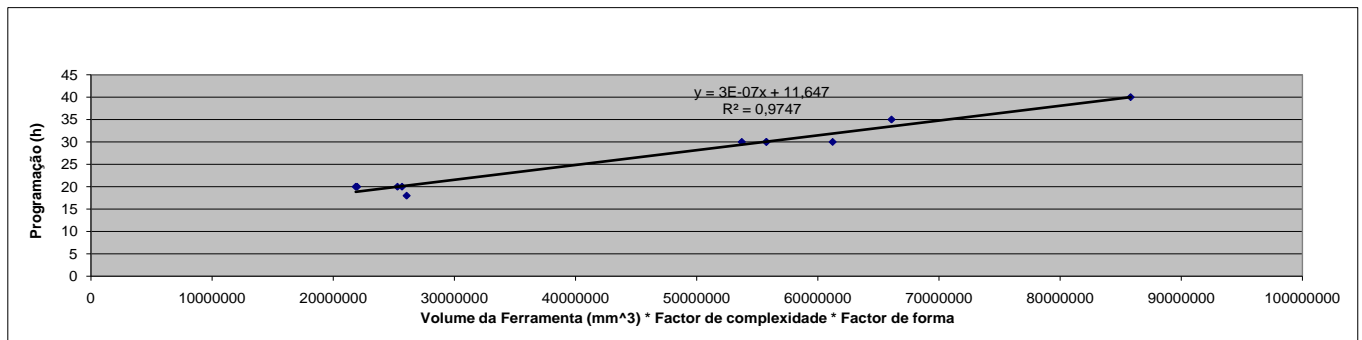


Figura 6-11 – Cálculo programação de ferramentas simples (corte a 0°)

$$\text{Programação} = 3 * 10^{-7} * (\text{Volume}) * FC * FF + 11,647$$

$$r^2 = 0,9747$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Corte com ângulo

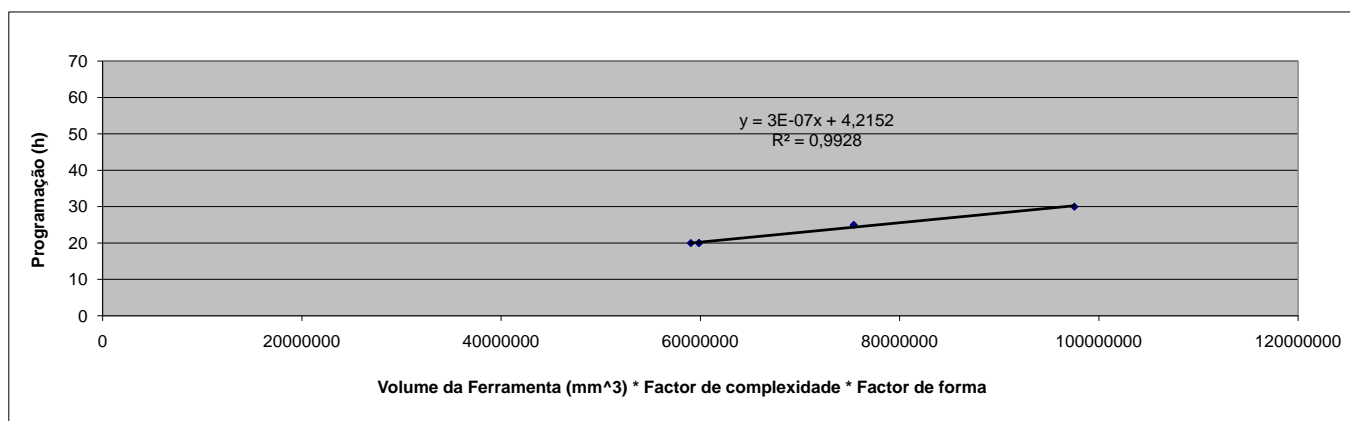


Figura 6-12 – Cálculo programação de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Programação = 3 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FF + 4,2152$$

$$r^2 = 0,9928$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-13 – Factor complexidade de ferramentas simples (programação)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Programação	1	1	1	0.3	0.4

Factor de forma da ferramenta

Tabela 6-14 – Factor forma de ferramentas simples (programação)

Factor de forma	Não	Sim
Programação	1	2

Testes – Avaliação das horas de programação

Tabela 6-15 – Teste cálculo programação de ferramentas simples

Obra	Programação (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Forma*	Programação Calculado (h)	Erro
K382		347380008	4	0,3	1	35	
M377	30	55753946	1	1	1	28	-5%
M378	20	68046652	3	1	1	25	23%
M386	20	21970648	1	1	1	18	-9%
M534	40	107276031	5	0,4	2	37	-7%
N018	20	21859309	1	1	1	18	-9%
N111	20	68046652	3	1	1	25	23%
N323	30	55753946	1	1	1	28	-5%
O102	8	36153845	2	1	1	22	181%
O349	20	77430276	4	0,3	2	18	-9%
O359	30	53726600	1	1	1	28	-7%
O441	35	66084530	1	1	1	31	-10%
O442	30	92164688	3	1	1	32	6%
O465	20	25679908	1	1	1	19	-3%
P046	20	25303413	1	1	1	19	-4%
P051	30	61225242	1	1	1	30	0%
P212	15	103370552	5	0,4	1	24	60%
P353	60	90545926	3	1	1	31	-48%
P354	25	90545926	3	1	1	31	26%
P389	18	26060289	1	1	1	19	8%
Q228	60	61071964	3	1	1	23	-62%

Pode-se comparar na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 que dá um desvio de 62%.

6.3.5 Cálculo do tempo de Torno

Corte a 0°

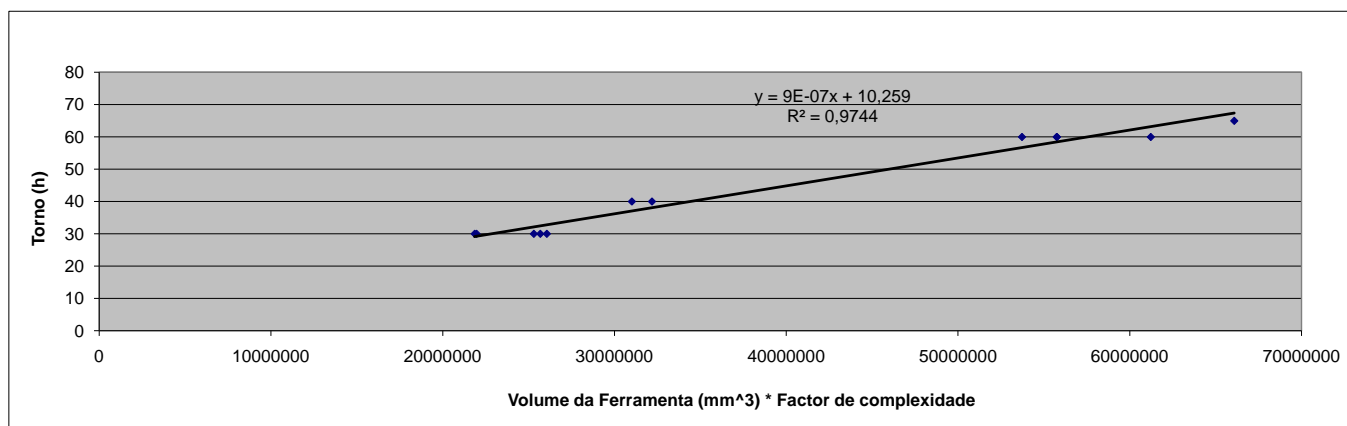


Figura 6-13 – Cálculo torno de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Torno = 9 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 10,259$$

$$r^2 = 0,9744$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

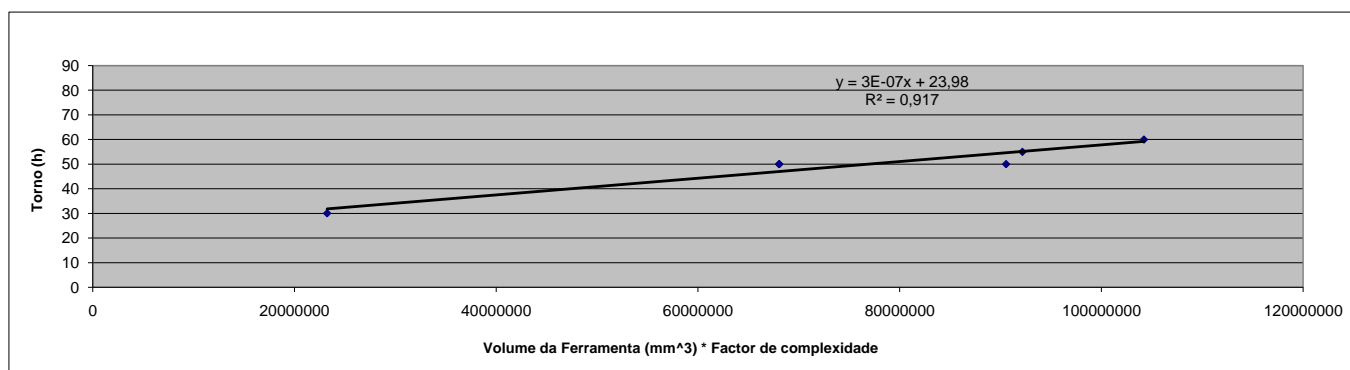


Figura 6-14 – Cálculo torno de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Torno = 3 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 23,98$$

$$r^2 = 0,9170$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-16 – Factor complexidade de ferramentas simples (torno)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Torno	1	1	1	0.3	0.3

Testes – Avaliação das horas de torno

Tabela 6-17 – Testes cálculo torno de ferramentas simples

Obra	Torno (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Torno Calculado (h)	Erro
K382	60	347380008	4	0,3	55	-8%
M377	60	55753946	1	1	60	1%
M378	50	68046652	3	1	44	-11%
M386	30	21970648	1	1	30	0%
M534	40	107276031	5	0,3	39	-2%
N018	30	21859309	1	1	30	0%
N111	50	68046652	3	1	44	-11%
N323	60	55753946	1	1	60	1%
O102	12	36153845	2	1	43	257%
O349	30	77430276	4	0,3	31	3%
O359	60	53726600	1	1	59	-2%
O441	65	66084530	1	1	70	7%
O442	55	92164688	3	1	52	-6%
O465	30	25679908	1	1	33	11%
P046	30	25303413	1	1	33	10%
P051	60	61225242	1	1	65	9%
P212	40	103370552	5	0,3	38	-5%
P353	84	90545926	3	1	51	-39%
P354	50	90545926	3	1	51	2%
P389	30	26060289	1	1	34	12%
Q228	80	61071964	3	1	42	-47%

Pode-se comparar na Tabela 6-17 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em

casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 47%.

6.3.6 Cálculo do tempo de desbaste

Corte a 0°

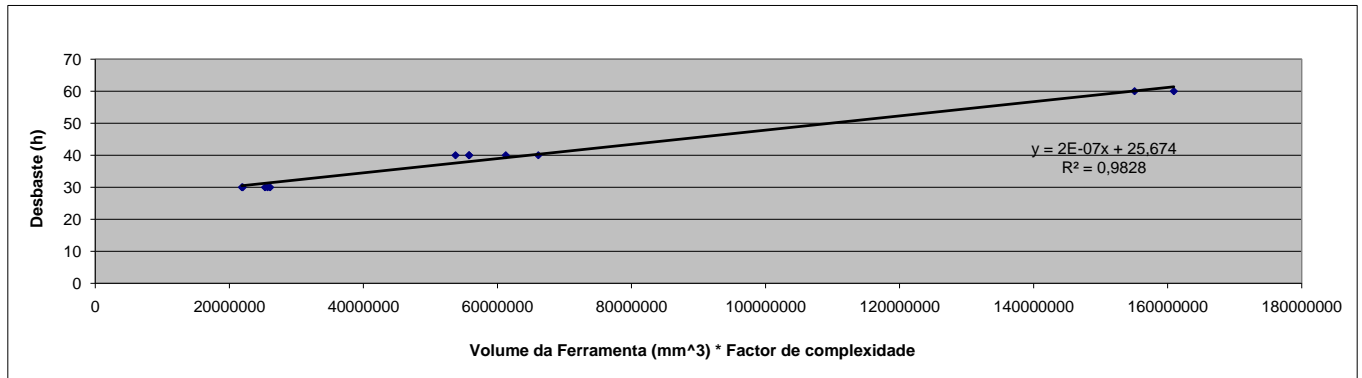


Figura 6-15 – Cálculo desbaste de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Desbaste = 2 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 25,674$$

$$r^2 = 0,9828$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

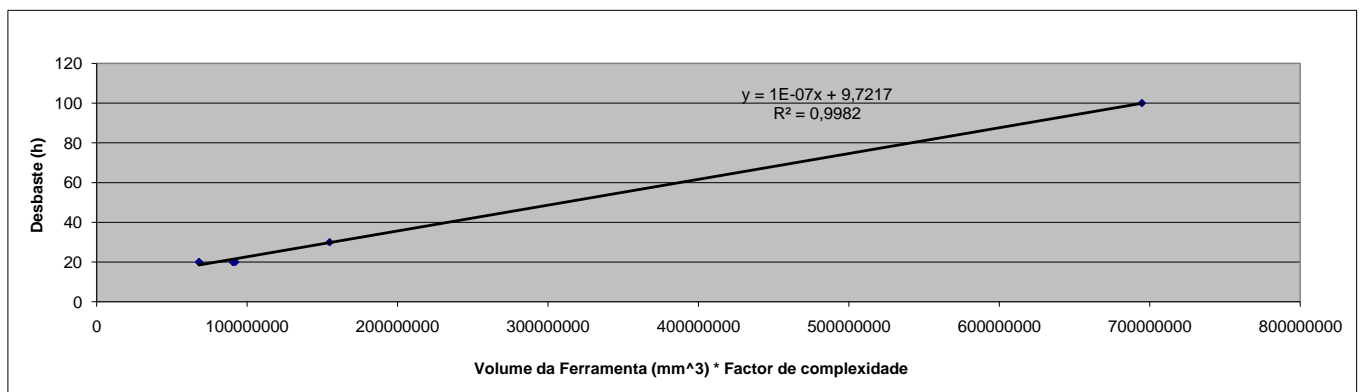


Figura 6-16 – Cálculo desbaste de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Desbaste = 1 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 9,7217$$

$$r^2 = 0,9982$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-18 – Factor complexidade de ferramentas simples (desbaste)

Factor de complexidade	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Desbaste	1	1	1	2	1.5

Testes – Avaliação das horas de desbaste

Tabela 6-19 – Teste cálculo desbaste de ferramentas simples

Obra	Desbaste (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Desbaste Calculado (h)	Erro
K382	100	347380008	4	2	79	-21%
M377	40	55753946	1	1	37	-8%
M378	20	68046652	3	1	17	-17%
M386	30	21970648	1	1	30	0%
M534	60	107276031	5	1,5	58	-4%
N018	30	21859309	1	1	30	0%
N111	20	68046652	3	1	17	-17%
N323	40	55753946	1	1	37	-8%
O102	16	36153845	2	1	43	167%
O349	30	77430276	4	2	25	-16%
O359	40	53726600	1	1	36	-9%
O441	40	66084530	1	1	39	-3%
O442	20	92164688	3	1	19	-5%
O465	30	25679908	1	1	31	3%
P046	30	25303413	1	1	31	2%
P051	40	61225242	1	1	38	-5%
P212	60	103370552	5	1,5	57	-6%
P353	84	90545926	3	1	19	-78%
P354	20	90545926	3	1	19	-6%
P389	30	26060289	1	1	31	3%
Q228	40	61071964	3	1	16	-60%

Pode-se comparar na Tabela 6-19 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 60%.

6.3.7 Cálculo do tempo de fresagem convencional

Corte 0°

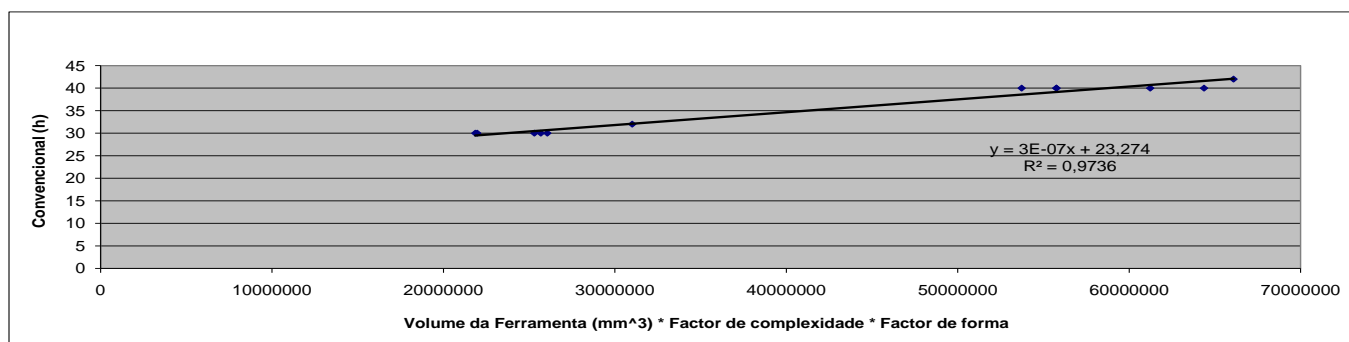


Figura 6-17 – Cálculo fresagem convencional de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Convencional = 3 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FF + 23,274$$

$$r^2 = 0,9736$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Corte com ângulo

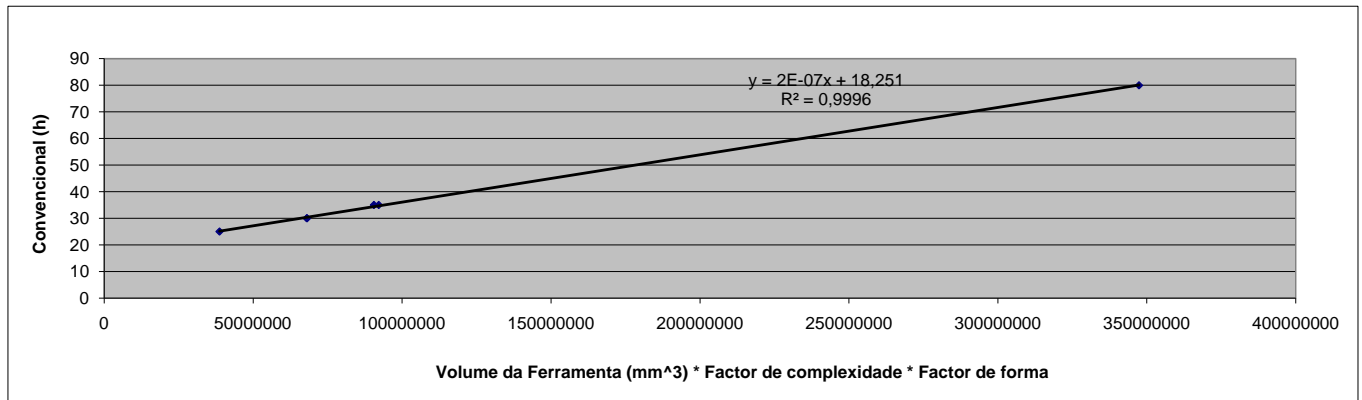


Figura 6-18 – Cálculo fresagem convencional de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Convencional = 2 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FF + 18,251$$

$$r^2 = 0,9996$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-20 - Factor complexidade de ferramentas simples (fresagem convencional)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Convencional	1	1	1	0.5	0.3

Factor de forma da ferramenta

Tabela 6-21 - Factor forma de ferramentas simples (fresagem convencional)

Factor de forma	Não	Sim
Convencional	1	2

Testes – Avaliação das horas da fresagem convencional

Tabela 6-22 - Teste cálculo fresagem convencional de ferramentas simples

Obra	Convencional (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Forma*	Desbaste Calculado (h)	Erro
K382	80	347380008	4	0,5	1	53	-34%
M377	40	55753946	1	1	1	40	0%
M378	30	68046652	3	1	1	32	6%
M386	30	21970648	1	1	1	30	0%
M534	40	107276031	5	0,3	2	43	6%
N018	30	21859309	1	1	1	30	-1%
N111	30	68046652	3	1	1	32	6%
N323	40	55753946	1	1	1	40	0%
O102	16	36153845	2	1	1	43	167%
O349	25	77430276	4	0,5	2	34	35%
O359	40	53726600	1	1	1	39	-2%
O441	42	66084530	1	1	1	43	3%
O442	35	92164688	3	1	1	37	5%
O465	30	25679908	1	1	1	31	3%
P046	30	25303413	1	1	1	31	3%
P051	40	61225242	1	1	1	42	4%
P212	32	103370552	5	0,3	1	33	2%
P353	84	90545926	3	1	1	36	-57%
P354	35	90545926	3	1	1	36	4%
P389	30	26060289	1	1	1	31	4%
Q228	60	61071964	3	1	1	30	-49%

Pode-se comparar na Tabela 6-22 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 49%.

6.3.8 Cálculo do tempo de fresagem CNC

Corte a 0°

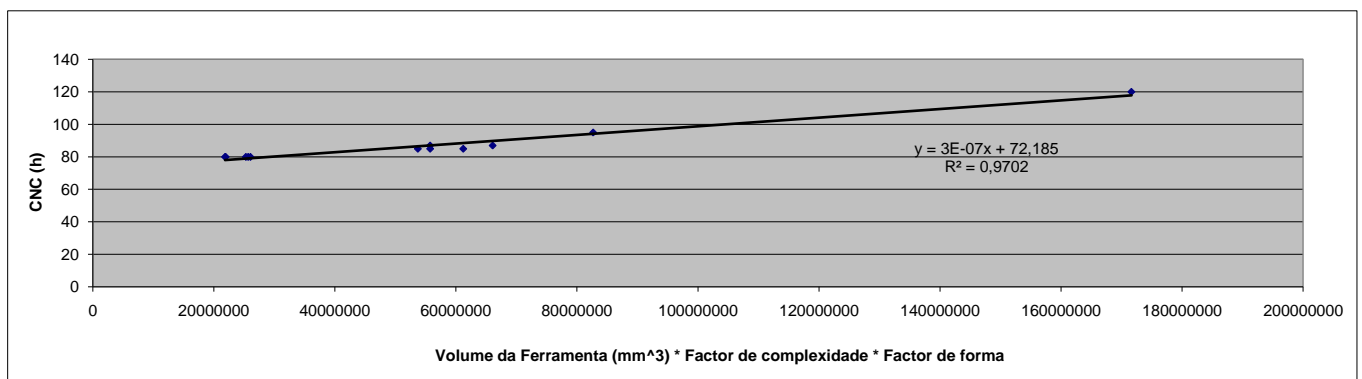


Figura 6-19 – Cálculo fresagem CNC de ferramentas simples (corte 0°)

$$CNC = 3 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FF + 72,185$$

$$r^2 = 0,9702$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Corte com ângulo

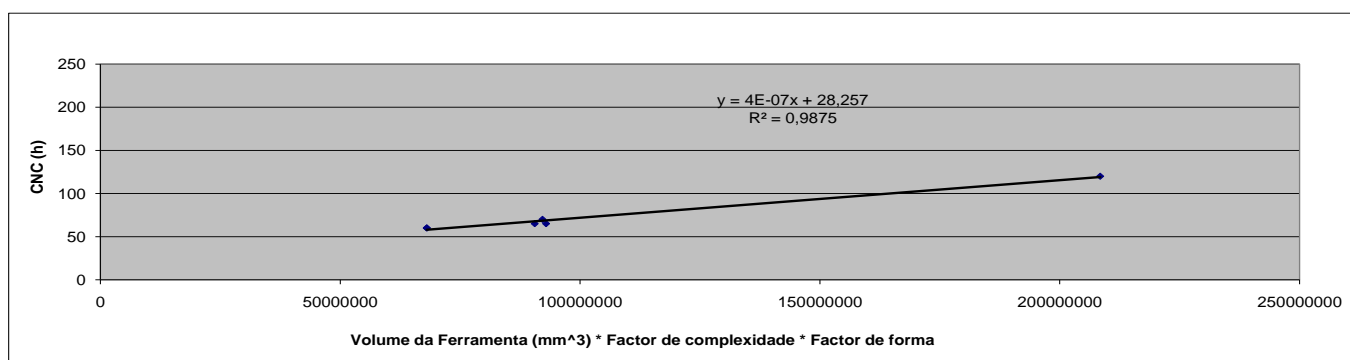


Figura 6-20 – Cálculo fresagem CNC de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$CNC = 4 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FF + 28,257$$

$$r^2 = 0,9875$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FF – Factor de Forma

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-23 – Factor complexidade de ferramentas simples (fresagem CNC)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
CNC	1	1	1	0.6	0.8

Factor de forma da ferramenta

Tabela 6-24 – Factor forma de ferramentas simples (fresagem CNC)

Factor de forma	Não	Sim
CNC	1	2

Testes – Avaliação das horas de fresagem CNC

Tabela 6-25 – Teste cálculo fresagem CNC de ferramentas simples

Obra	CNC (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Forma*	CNC (h)	Erro
K382	120	347380008	4	0,6	1	112	-7%
M377	85	55753946	1	1	1	89	5%
M378	60	68046652	3	1	1	55	-8%
M386	80	21970648	1	1	1	79	-2%
M534	120	107276031	5	0,8	2	124	3%
N018	80	21859309	1	1	1	79	-2%
N111	60	68046652	3	1	1	55	-8%
N323	87	55753946	1	1	1	89	2%
O102	18	36153845	2	1	1	83	361%
O349	65	77430276	4	0,6	2	65	1%
O359	85	53726600	1	1	1	88	4%
O441	87	66084530	1	1	1	92	6%
O442	70	92164688	3	1	1	65	-7%
O465	80	25679908	1	1	1	80	0%
P046	80	25303413	1	1	1	80	0%
P051	85	61225242	1	1	1	91	7%
P212	95	103370552	5	0,8	1	97	2%
P353	196	90545926	3	1	1	64	-67%
P354	65	90545926	3	1	1	64	-1%
P389	80	26060289	1	1	1	80	0%
Q228	200	61071964	3	1	1	53	-74%

Pode-se comparar na Tabela 6-25 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 74%.

6.3.9 Cálculo do tempo de rectificação

Corte a 0°

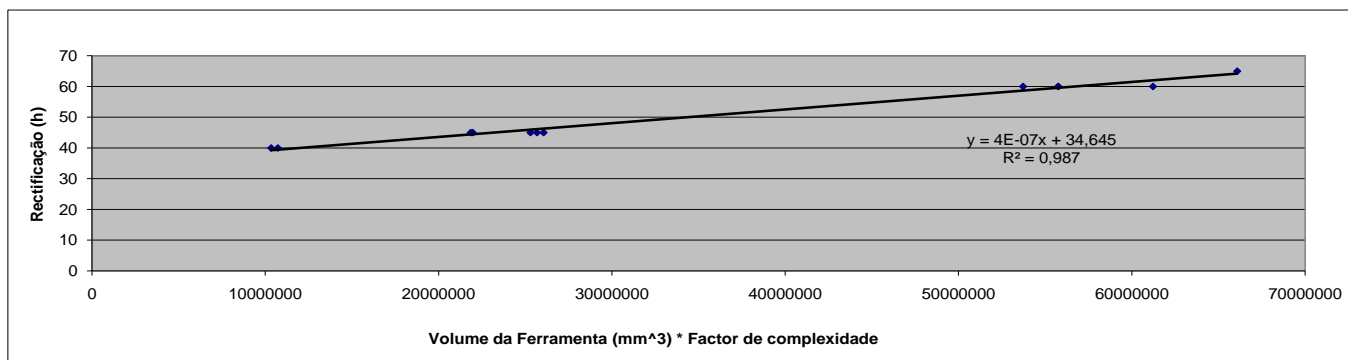


Figura 6-21 – Cálculo rectificação de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Rectificação = 4 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 34,645$$

$$r^2 = 0,9870$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

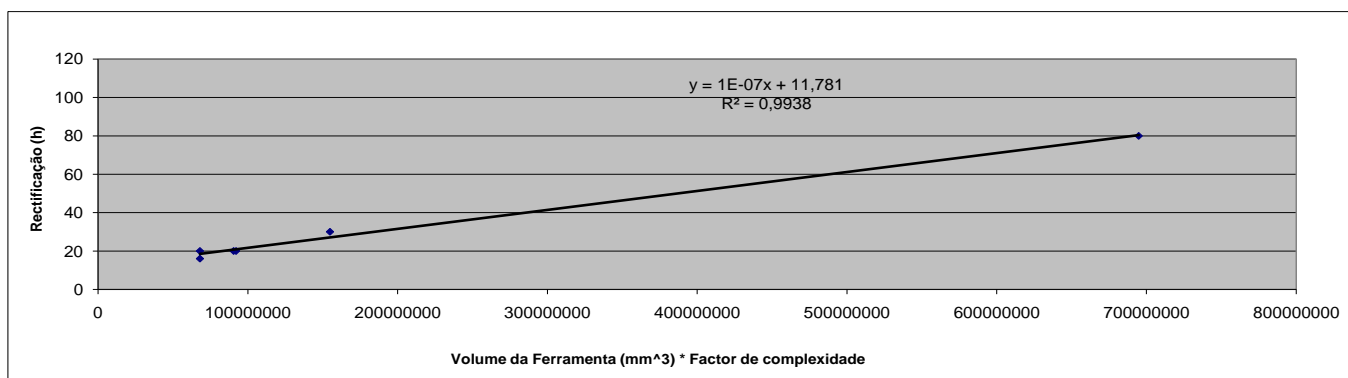


Figura 6-22 – Cálculo rectificação de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Rectificação = 1 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 11,781$$

$$r^2 = 0,9938$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-26 – Factor complexidade de ferramentas simples (rectificação)

Factor de complexidade	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Rectificação	1	1	1	2	0.1

Testes – Avaliação das horas de rectificação

Tabela 6-27 – Teste cálculo rectificação de ferramentas simples

Obra	Rectificação (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Rectificação Calculado (h)	Erro
K382	80	347380008	4	2	81	2%
M377	60	55753946	1	1	57	-5%
M378	20	68046652	3	1	19	-7%
M386	45	21970648	1	1	43	-3%
M534	40	107276031	5	0,1	39	-3%
N018	45	21859309	1	1	43	-4%
N111	16	68046652	3	1	19	16%
N323	60	55753946	1	1	57	-5%
O102	12	36153845	2	1	49	309%
O349	30	77430276	4	2	27	-9%
O359	60	53726600	1	1	56	-6%
O441	65	66084530	1	1	61	-6%
O442	20	92164688	3	1	21	5%
O465	45	25679908	1	1	45	0%
P046	45	25303413	1	1	45	-1%
P051	60	61225242	1	1	59	-1%
P212	40	103370552	5	0,1	39	-3%
P353	98	90545926	3	1	21	-79%
P354	20	90545926	3	1	21	4%
P389	45	26060289	1	1	45	0%
Q228	70	61071964	3	1	18	-74%

Pode-se comparar na Tabela 6-27 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 74%.

6.3.10 Cálculo do tempo de Electroerosão

Corte a 0°

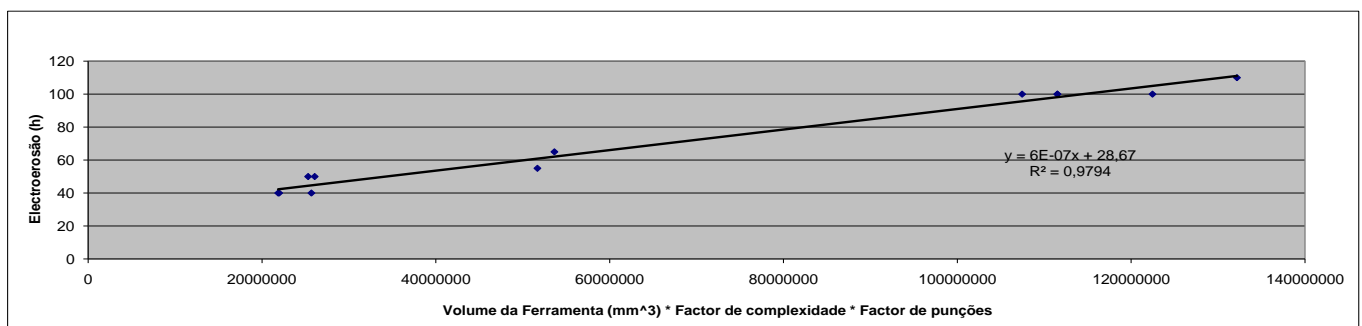


Figura 6-23 – Cálculo electroerosão de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Electroerosão = 6 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FP + 28,67$$

$$r^2 = 0,9794$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

Corte com ângulo

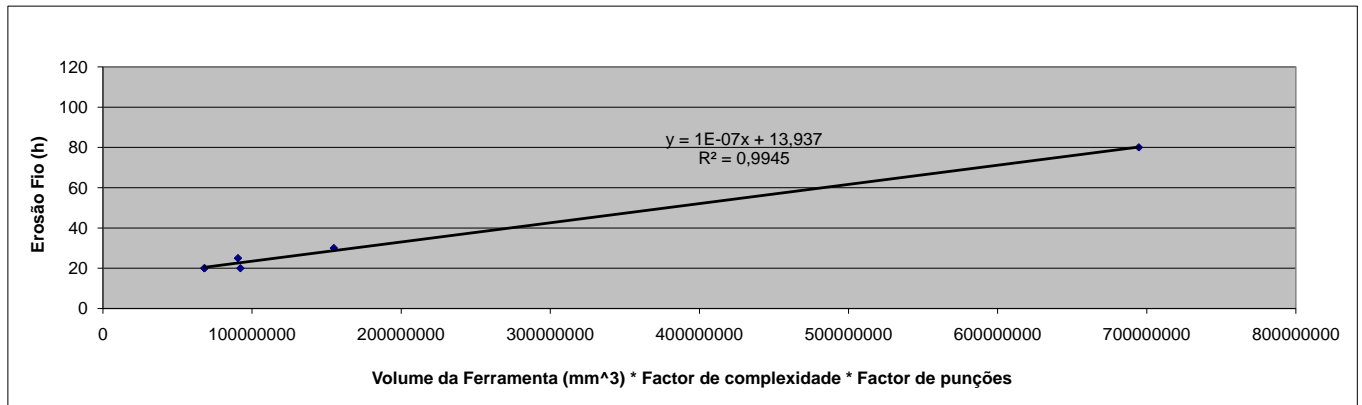


Figura 6-24 – Cálculo electroerosão de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Electroerosão = 1 * 10^{-7} * (Volume) * FC * FP + 13,937$$

$$r^2 = 0,9945$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-28 – Factor complexidade de ferramentas simples (electroerosão)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Electroerosão	1	1	1	2	0.5

Factor de punções da ferramenta

Tabela 6-29 – Factor punções de ferramentas simples (electroerosão)

Factor de punções	NP < 10	NP >= 10
Electroerosão	1	2

Onde:

NP – Número de punções da ferramenta

Testes – Avaliação das horas de electroerosão

Tabela 6-30 – Teste cálculo electroerosão de ferramentas simples

Obra	Erosão Fio (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Factor de Punção	Erosão Fio Calculado (h)	Erro
K382	80	347380008	4	2	1	83	4%
M377	100	55753946	1	1	2	96	-4%
M378	20	68046652	3	1	1	21	4%
M386	40	21970648	1	1	1	42	5%
M534	65	107276031	5	0,5	1	61	-6%
N018	40	21859309	1	1	1	42	4%
N111	20	68046652	3	1	1	21	4%
N323	100	55753946	1	1	2	96	-4%
O102	12	36153845	2	1	1	50	320%
O349	30	77430276	4	2	1	29	-2%
O359	100	53726600	1	1	2	93	-7%
O441	110	66084530	1	1	2	108	-2%
O442	20	92164688	3	1	1	23	16%
O465	40	25679908	1	1	1	44	10%
P046	50	25303413	1	1	1	44	-12%
P051	100	61225242	1	1	2	102	2%
P212	55	103370552	5	0,5	1	60	9%
P353	98	90545926	3	1	1	23	-77%
P354	25	90545926	3	1	1	23	-8%
P389	50	26060289	1	1	1	44	-11%
Q228	60	61071964	3	1	1	20	-67%

Pode-se comparar na Tabela 6-30 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 67%.

6.3.11 Cálculo do tempo de montagem/ensaio

Corte a 0°

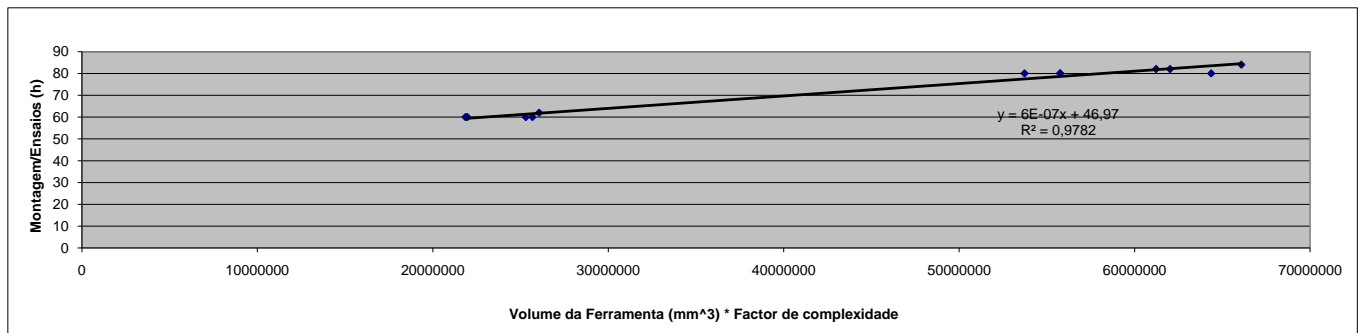


Figura 6-25 – Cálculo Montagem/Ensaio de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Montagem = 6 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 46,97$$

$$r^2 = 0,9782$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Corte com ângulo

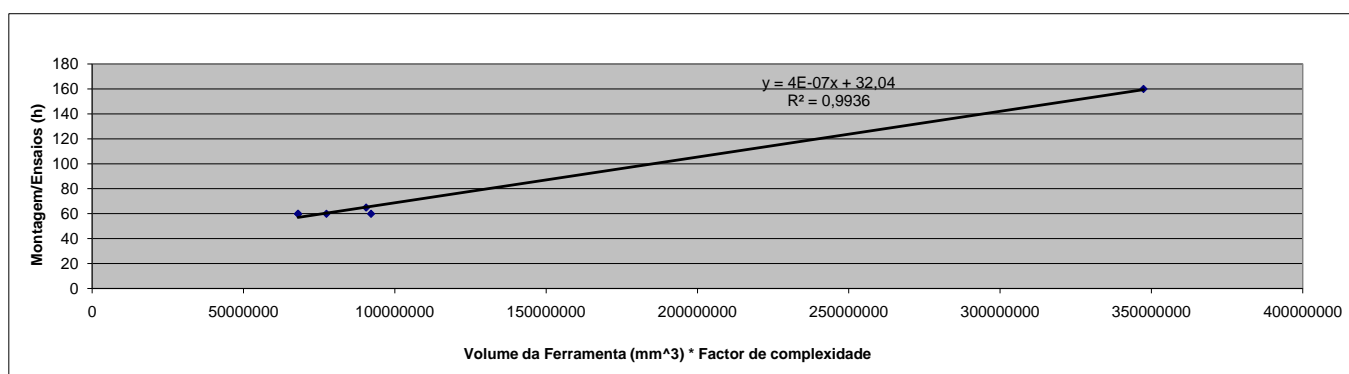


Figura 6-26 – Cálculo Montagem/Ensaio de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Montagem = 4 * 10^{-7} * (Volume) * FC + 32,04$$

$$r^2 = 0,9936$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-31 – Factor complexidade de ferramentas simples (montagem/ensaio)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Montagem	1	1	1	1	0.6

Testes – Avaliação das horas de montagem/ensaio

Tabela 6-32 – Teste cálculo Montagem/Ensaio de ferramentas simples

Obra	Montagem (h)	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Montagem/Ensaio Calculado (h)	Erro
K382	160	347380008	4	1	171	7%
M377	80	55753946	1	1	80	1%
M378	60	68046652	3	1	59	-1%
M386	60	21970648	1	1	60	0%
M534	80	107276031	5	0,6	86	7%
N018	60	21859309	1	1	60	0%
N111	60	68046652	3	1	59	-1%
N323	80	55753946	1	1	80	1%
O102	32	36153845	2	1	69	115%
O349	60	77430276	4	1	63	5%
O359	80	53726600	1	1	79	-1%
O441	84	66084530	1	1	87	3%
O442	60	92164688	3	1	69	15%
O465	60	25679908	1	1	62	4%
P046	60	25303413	1	1	62	4%
P051	82	61225242	1	1	84	2%
P212	82	103370552	5	0,6	84	3%
P353	133	90545926	3	1	68	-49%
P354	65	90545926	3	1	68	5%
P389	62	26060289	1	1	63	1%
Q228	120	61071964	3	1	56	-53%

Pode-se comparar na Tabela 6-32 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos

chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 53%.

6.3.12 Cálculo do valor da matéria-prima

Corte a 0º

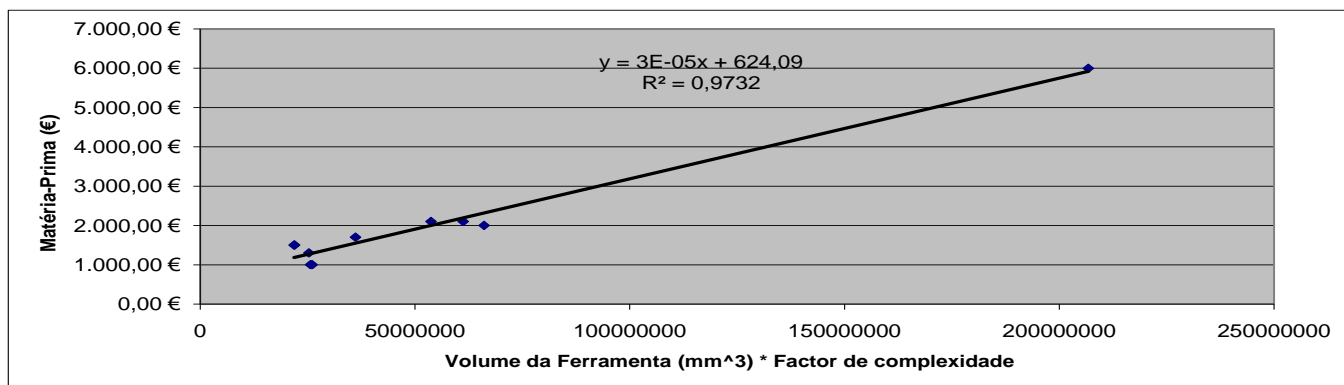


Figura 6-27 – Cálculo matéria-prima de ferramentas simples (corte a 0º)

$$MP1 = 7,85 * 10^{-6} * (Volume) * 3,5 * 1,25$$

$$MP2 = 3 * 10^{-5} * (Volume) * FC + 624,09$$

$$r^2 = 0,9732$$

Onde:

MP1 – Matéria-Prima 1

MP2 – Matéria-Prima 2

FC – Factor de Complexidade

O valor de “matéria-prima 1” é obtido multiplicando a densidade média do aço com o volume da ferramenta, com o preço médio dos aços usados numa ferramenta e pelo factor de desperdício de material. O valor de “matéria-prima 2” é obtido analogamente a todos os outros anteriores.

Como existem dois critérios para o cálculo da matéria-prima, tem que proceder-se a uma optimização de factores para se encontrar os melhores factores de relacionamento para um melhor resultado, como se poderá verificar de seguida.

Tabela 6-33 – Factor ponderação de matéria-prima de ferramentas simples (corte a 0º)

	Erro MP1	Erro MP2			Erro Total
M377			Factor de relação MP1	2.182,14 €	
M386	-50%	-14%	30%	1.124,61 €	-25%
M534				7.153,01 €	
N018	-50%	-15%	Factor de relação MP2	1.121,13 €	-25%
N323			70%	2.182,14 €	
O102	-27%	1%		1.568,59 €	-8%
O359	-12%	6%		2.118,67 €	1%
O441	13%	30%		2.505,52 €	25%
O465	-12%	39%		1.240,72 €	24%
P046	-33%	6%		1.228,94 €	-5%
P051	0%	17%		2.353,40 €	12%
P212	18%	14%		6.908,51 €	15%
P389	-10%	41%		1.252,63 €	25%
Média	-16%	13%			4%
Desvio Padrão	24%	20%			20%

Logo,

$$\text{Matéria – Prima} = 0,3 * MP1 + 0,7 * MP2$$

Corte com ângulo

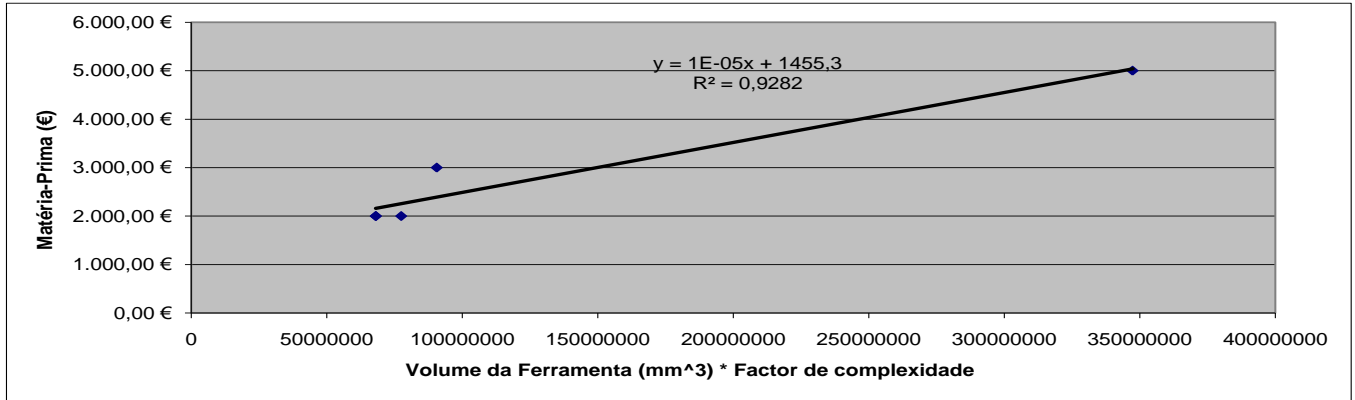


Figura 6-28 – Cálculo matéria-prima de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$MP1 = 7,85 * 10^{-6} * (Volume) * 3,5 * 1,0$$

$$MP2 = 1 * 10^{-5} * (Volume) * FC + 1455,3$$

$$r^2 = 0,9282$$

Onde:

MP1 – Matéria-Prima 1

MP2 – Matéria-Prima 2

FC – Factor de Complexidade

O valor de “matéria-prima 1” é obtido multiplicando a densidade média do aço com o volume da ferramenta, com o preço médio dos aços usados numa ferramenta e pelo factor de desperdício de material. O valor de “matéria-prima 2” é obtido analogamente a todos os outros anteriores.

Como existe dois critérios para o cálculo da matéria-prima, tem que se proceder a uma optimização de factores para se encontrar os melhores factores de relacionamento para um melhor resultado, como se poderá verificar de seguida.

Tabela 6-34 – Factor ponderação de matéria-prima de ferramentas simples (corte com ângulo)

	Erro MP1	Erro MP2			Erro Total
K382	91%	-1%	Factor de relação MP1	5.390,62 €	8%
M378	-7%	7%		2.082,53 €	4%
N111	-7%	7%		2.082,53 €	4%
O349	6%	11%	Factor de relação MP2	2.209,16 €	10%
O442				2.408,00 €	
P353				2.386,16 €	
P354	-17%	-21%		2.386,16 €	-20%
Q228				1.988,41 €	
Média	13%	0%			1%
Desvio Padrão	44%	13%			12%

Logo,

$$\text{Matéria – Prima} = 0,1 * MP1 + 0,9 * MP2$$

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-35 – Factor complexidade de ferramentas simples (matéria-prima)

Factor de complexidade	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
	Ferramenta de furação total ou calibração a 0º	Ferramenta de corte simples a 0º	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Matéria-prima	1	1	1	1	2

Testes – Avaliação do valor da matéria-prima

Tabela 6-36 – Teste cálculo matéria-prima de ferramentas simples

Obra	Materia-Prima Original	Volume da Ferramenta Calculado (mm³)	Complexidade	Factor de complexidade	Materia-Prima Calculada	Erro
K382	5.000,00 €	347380008	4	1	5.390,62 €	8%
M377	3.000,00 €	55753946	1	1	2.182,14 €	-27%
M378	2.000,00 €	68046652	3	1	2.109,15 €	5%
M386	1.500,00 €	21970648	1	1	1.124,61 €	-25%
M534	3.500,00 €	107276031	5	2	7.153,01 €	104%
N018	1.500,00 €	21859309	1	1	1.121,13 €	-25%
N111	2.000,00 €	68046652	3	1	2.109,15 €	5%
N323	3.000,00 €	55753946	1	1	2.182,14 €	-27%
O102	1.700,00 €	36153845	2	1	1.568,59 €	-8%
O349	2.000,00 €	77430276	4	1	2.219,38 €	11%
O359	2.100,00 €	53726600	1	1	2.118,67 €	1%
O441	2.000,00 €	66084530	1	1	2.505,52 €	25%
O442	650,00 €	92164688	3	1	2.392,47 €	268%
O465	1.000,00 €	25679908	1	1	1.240,72 €	24%
P046	1.300,00 €	25303413	1	1	1.228,94 €	-5%
P051	2.100,00 €	61225242	1	1	2.353,40 €	12%
P212	6.000,00 €	103370552	5	2	6.908,51 €	15%
P353	5.000,00 €	90545926	3	1	2.373,46 €	-53%
P354	3.000,00 €	90545926	3	1	2.373,46 €	-21%
P389	1.000,00 €	26060289	1	1	1.252,63 €	25%
Q228	3.000,00 €	61071964	3	1	2.027,21 €	-32%

Pode-se comparar na Tabela 6-36 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 32%.

6.3.13 Cálculo do valor dos tratamentos térmicos

Corte a 0º

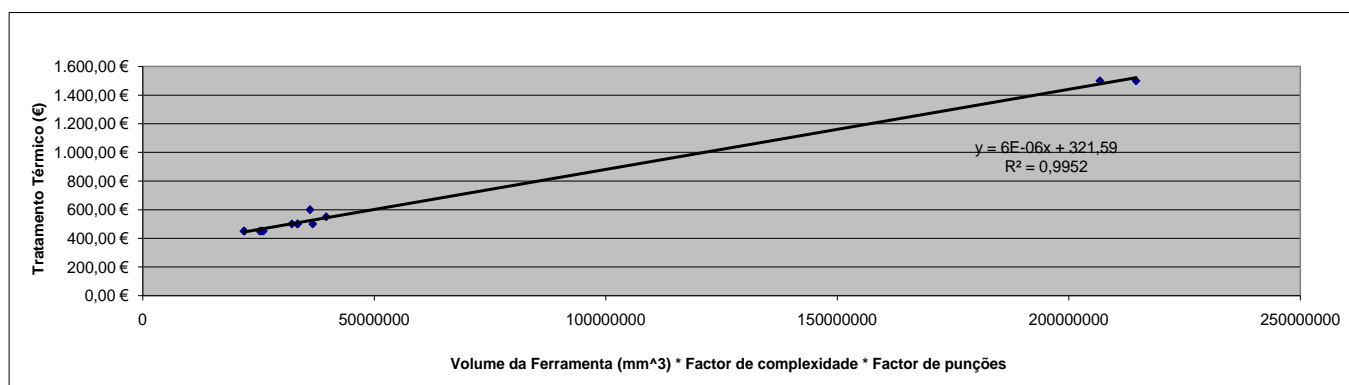


Figura 6-29 – Cálculo tratamento térmico de ferramentas simples (corte a 0º)

$$TratamentoT\acute{e}rmico = 6 * 10^{-6} * (Volume) * FC * FP + 321,59$$

$$r^2 = 0,9952$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

Corte com ângulo

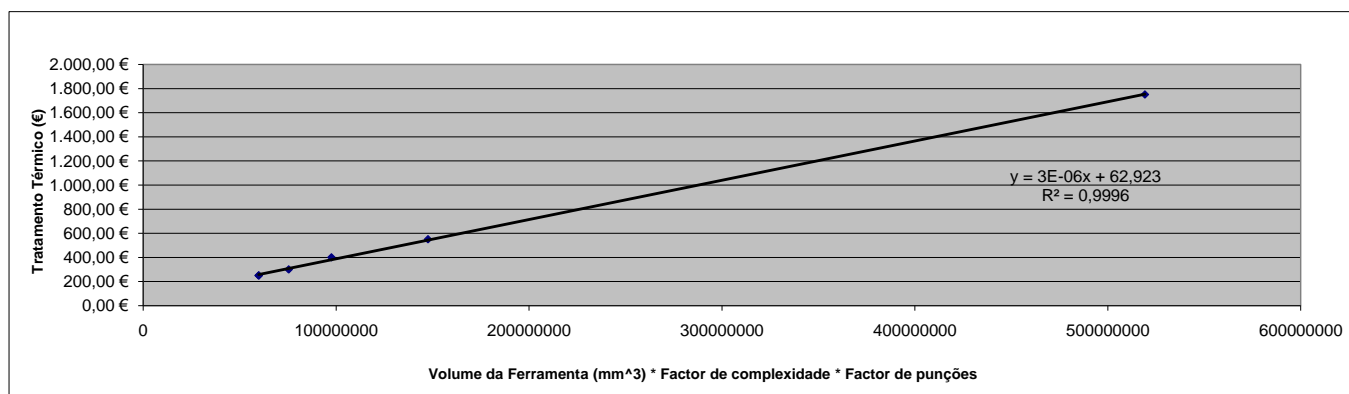


Figura 6-30 – Cálculo tratamento térmico de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$TratamentoT\acute{e}rmico = 3 * 10^{-6} * (Volume) * FC * FP + 62,923$$

$$r^2 = 0,9996$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-37 – Factor complexidade de ferramentas simples (tratamento térmico)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Tratamento térmico	1	1	1	1.5	2

Factor de punções da ferramenta

Tabela 6-38 – Factor punções de ferramentas simples (tratamento térmico)

Factor de punções	NP < 10	NP >= 10
Tratamento térmico	1	0.6

Onde:

NP – Número de punções da ferramenta

Testes – Avaliação do valor de tratamento térmico

Tabela 6-39 – Teste cálculo tratamento térmico de ferramentas simples

Obra	Tratamentos Térmicos	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Factor de Punção	Tratamento Térmico Calculado (h)	Erro
K382	1.750,00 €	347380008	4	1,5	1	1626	-7%
M377	500,00 €	55753946	1	1	0,6	522	4%
M378	250,00 €	68046652	3	1	1	267	7%
M386	450,00 €	21970648	1	1	1	453	1%
M534	1.500,00 €	107276031	5	2	1	1609	7%
N018	450,00 €	21859309	1	1	1	453	1%
N111	250,00 €	68046652	3	1	1	267	7%
N323	500,00 €	55753946	1	1	0,6	522	4%
O102	600,00 €	36153845	2	1	1	539	-10%
O349	550,00 €	77430276	4	1,5	1	411	-25%
O359	500,00 €	53726600	1	1	0,6	515	3%
O441	550,00 €	66084530	1	1	0,6	559	2%
O442	400,00 €	92164688	3	1	1	339	-15%
O465	450,00 €	25679908	1	1	1	476	6%
P046	450,00 €	25303413	1	1	1	473	5%
P051	500,00 €	61225242	1	1	0,6	542	8%
P212	1.500,00 €	103370552	5	2	1	1562	4%
P353	800,00 €	90545926	3	1	1	335	-58%
P354	300,00 €	90545926	3	1	1	335	12%
P389	450,00 €	26060289	1	1	1	478	6%
Q228	500,00 €	61071964	3	1	1	246	-51%

Pode-se comparar na Tabela 6-39 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 51%.

6.3.14 Cálculo do valor dos extras

Corte a 0°

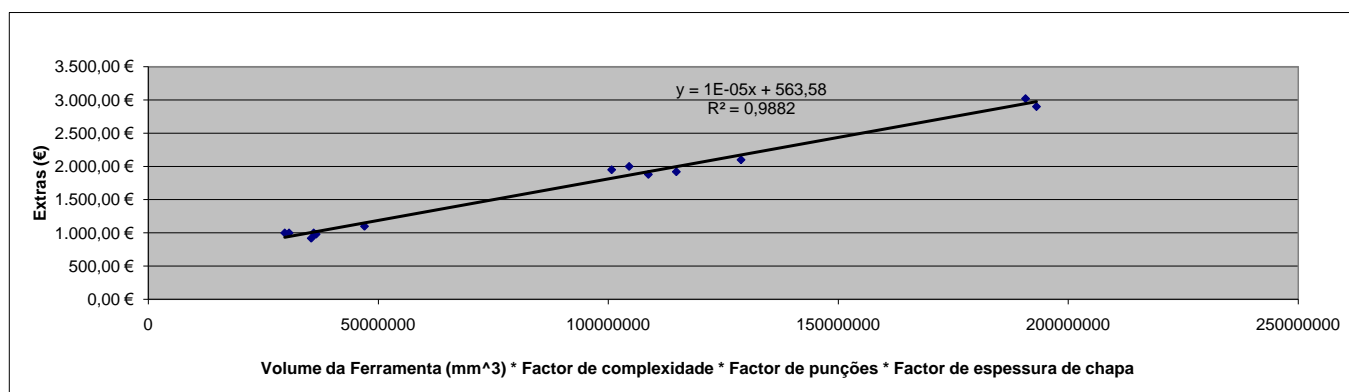


Figura 6-31 – Cálculo extras de ferramentas simples (corte a 0°)

$$Extras = 1 * 10^{-5} * (Volume) * FC * FP * FCH + 563,58$$

$$r^2 = 0,9882$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

FCH – Factor de espessura de chapa

Corte com ângulo

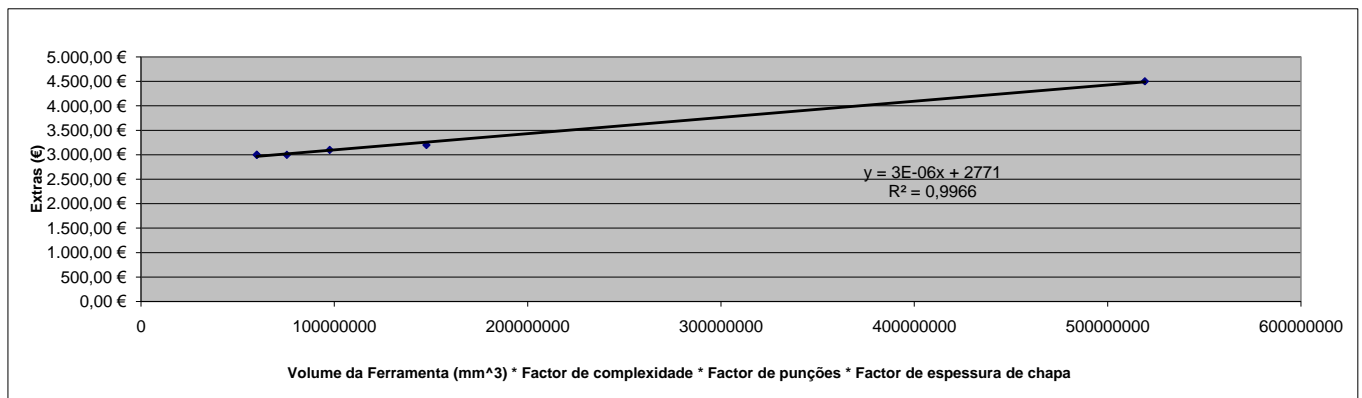


Figura 6-32 – Cálculo extras de ferramentas simples (corte com ângulo)

$$Extras = 3 * 10^{-6} * (Volume) * FC * FP * FCH + 2771$$

$$r^2 = 0,9966$$

Onde:

FC – Factor de Complexidade

FP – Factor de Punções

FCH – Factor de espessura de chapa

Factor de complexidade da ferramenta

Tabela 6-40 – Factor complexidade de ferramentas simples (extras)

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Factor de complexidade	Ferramenta de furação total ou calibração a 0°	Ferramenta de corte simples a 0°	Ferramenta com um único corte em ângulo	Ferramenta com vários cortes com ângulo	Ferramenta com outros tipos de corte
Extras	1	1	1	1.5	1.5

Factor de punções da ferramenta

Tabela 6-41 – Factor punções de ferramentas simples (extras)

Factor de punções	NP < 10	NP >= 10
Erosão fio	1	2
Tratamento térmico	1	0.6
Extras	1	1.5

Factor de espessura de chapa da peça

Tabela 6-42 – Factor espessura chapa ferramentas simples (extras)

Factor espessura da chapa	
Extras	Factor = (Espessura da chapa / 10) + 1

Testes – Avaliação do valor dos extras

Tabela 6-43 – Teste cálculo extras de ferramentas simples

Obra	Extras	Volume da Ferramenta Calculado (mm ³)	Complexidade	Factor de complexidade	Factor de Punção	Espessura da Chapa (mm)	Factor de Esp. Chapa	Extras Calculado (h)	Erro
K382	4.500,00 €	347380008	4	1,5	1	3,0	1,3	4803	7%
M377	2.000,00 €	55753946	1	1	1,5	2,5	1,25	1609	-20%
M378	3.000,00 €	68046652	3	1	1	2,5	1,25	3026	1%
M386	1.000,00 €	21970648	1	1	1	3,5	1,35	860	-14%
M534	2.900,00 €	107276031	5	1,5	1	2,0	1,2	2495	-14%
N018	1.000,00 €	21859309	1	1	1	4,0	1,4	870	-13%
N111	3.000,00 €	68046652	3	1	1	3,0	1,3	3036	1%
N323	1.880,00 €	55753946	1	1	1,5	3,0	1,3	1651	-12%
O102	1.100,00 €	36153845	2	1	1	3,0	1,3	1034	-6%
O349	3.200,00 €	77430276	4	1,5	1	0,7	1,07	3144	-2%
O359	1.950,00 €	53726600	1	1	1,5	2,5	1,25	1571	-19%
O441	2.100,00 €	66084530	1	1	1,5	3,0	1,3	1852	-12%
O442	3.100,00 €	92164688	3	1	1	3,0	1,3	3130	1%
O465	1.000,00 €	25679908	1	1	1	4,0	1,4	923	-8%
P046	920,00 €	25303413	1	1	1	4,0	1,4	918	0%
P051	1.920,00 €	61225242	1	1	1,5	2,5	1,25	1712	-11%
P212	3.020,00 €	103370552	5	1,5	1	2,3	1,23	2471	-18%
P353	1.200,00 €	90545926	3	1	1	2,5	1,25	3111	159%
P354	3.000,00 €	90545926	3	1	1	2,5	1,25	3111	4%
P389	980,00 €	26060289	1	1	1	4,0	1,4	928	-5%
Q228	1.500,00 €	61071964	3	1	1	2,5	1,25	3000	100%

Pode-se comparar na Tabela 6-43 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra Q228 dá um desvio de 100%.

6.3.15 Cálculos Finais

A partir de todos os cálculos efectuados para cada sector individualmente, como foi apresentado anteriormente, criou-se um algoritmo que pudesse calcular o valor monetário final de ferramentas simples, e fazer também uma apresentação do valor para cada sector individualmente.

Fluxograma do algoritmo

Após a organização de todos os processos de cálculo individualmente, e para uma boa organização e planeamento do algoritmo de cálculo das ferramentas simples é apresentado na Figura 6-33 o fluxograma de todo o algoritmo do sistema de orçamentação das ferramentas simples.

Implementação do algoritmo numa folha de cálculo

O algoritmo de estimação do valor do orçamento implementado em uma folha de cálculo (ver Figura 6-34).

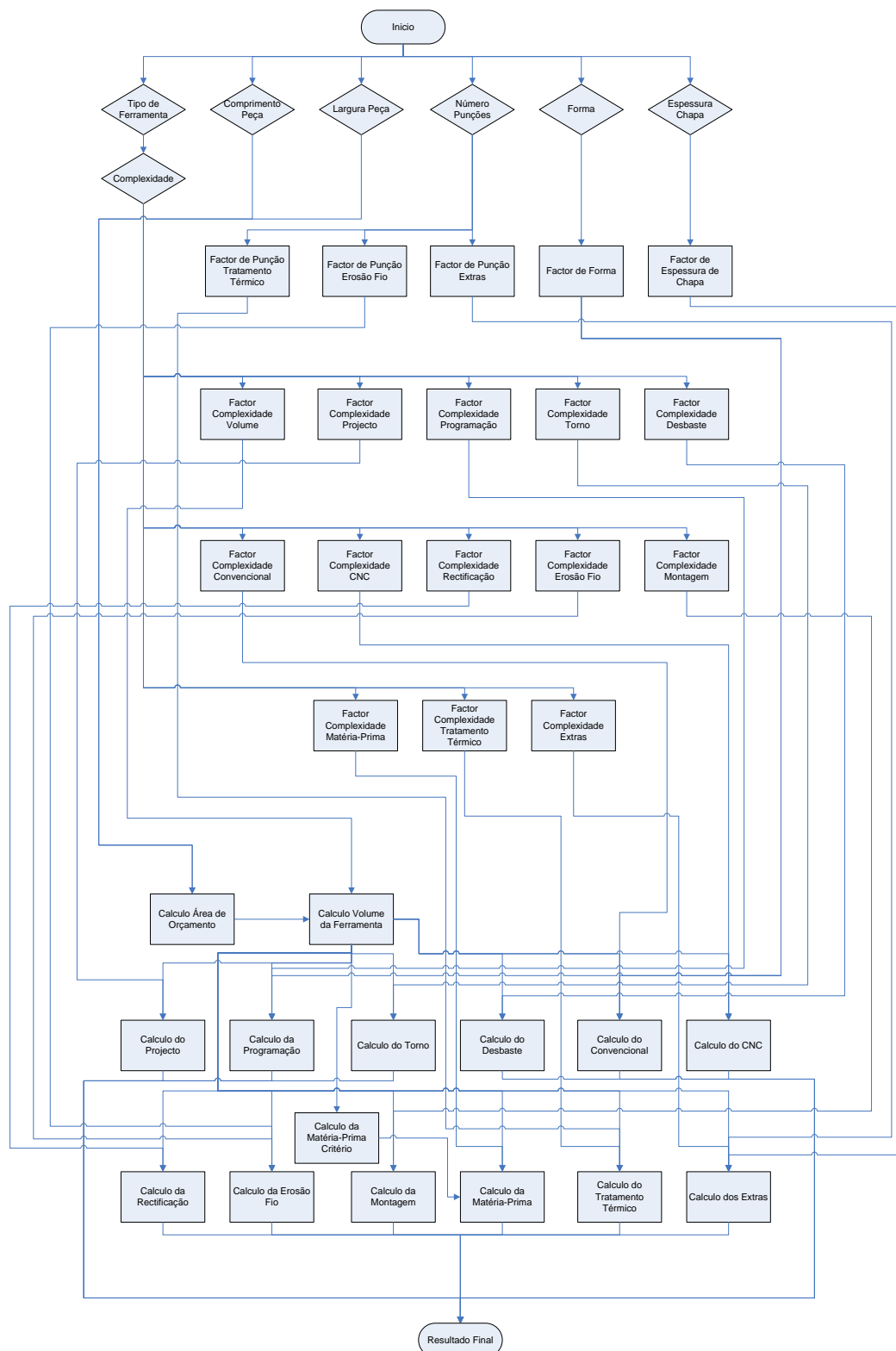


Figura 6-33 – Fluxograma do sistema de orçamentação de ferramentas simples

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte a 0°	1	Não	
Corte a 0°	1	Sim	
Corte a 0°	2	Não	
Corte a 0°	2	Sim	
Corte a 0°	5	Não	
Corte a 0°	5	Sim	
Corte com ângulo	3	Não	
Corte com ângulo	3	Sim	
Corte com ângulo	4	Não	
Corte com ângulo	4	Sim	
Corte com ângulo	5	Não	
Corte com ângulo	5	Sim	

Largura da Peça (mm) =
Comprimento da Peça (mm) =
Espessura da Chapa (mm) =
Área de Orçamento (mm²)=

Inserir Valores

Corte a 0°				Corte com ângulo			
Volume da Ferramenta (mm³):	Inserir Valores	Valor (€/h)	Preço Final (€)	Volume da Ferramenta (mm³):	Inserir Valores	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores	Projecto (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Programação (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores	Programação (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Torno (h):	Inserir Valores	27,50 €	Inserir Valores	Torno (h):	Inserir Valores	27,50 €	Inserir Valores
Desbaste (h):	Inserir Valores	22,50 €	Inserir Valores	Desbaste (h):	Inserir Valores	22,50 €	Inserir Valores
Convencional (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores	Convencional (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
CNC (h):	Inserir Valores	40,00 €	Inserir Valores	CNC (h):	Inserir Valores	40,00 €	Inserir Valores
Rectificação (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores	Rectificação (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Erosão Fio (h):	Inserir Valores	45,00 €	Inserir Valores	Erosão Fio (h):	Inserir Valores	45,00 €	Inserir Valores
Montagem/Ensaio (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores	Montagem/Ensaio (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Matéria-Prima (€):	Inserir Valores		Inserir Valores	Matéria-Prima (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Tratamento Térmico (€):	Inserir Valores		Inserir Valores	Tratamento Térmico (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Extras (€):	Inserir Valores		Inserir Valores	Extras (€):	Inserir Valores		Inserir Valores

TOTAL : 0 €

TOTAL : 0 €

Figura 6-34 – Sistema orçamentação ferramenta simples

Como se pode verificar, este sistema de orçamentação tem duas partes distintas. Uma primeira parte onde são inseridos todos os valores pedidos, sendo obrigatório estar todos os campos preenchidos, outra parte é o cálculo em si, é apresentado de duas formas distintas:

- O cálculo para as ferramentas simples com corte a 0°;
- O corte com ângulo, qualquer que seja o ângulo de corte da ferramenta.

Entrada de dados no sistema

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte a 0°	1	Não	
Corte a 0°	1	Sim	
Corte a 0°	2	Não	
Corte a 0°	2	Sim	
Corte a 0°	5	Não	
Corte a 0°	5	Sim	
Corte com ângulo	3	Não	
Corte com ângulo	3	Sim	
Corte com ângulo	4	Não	
Corte com ângulo	4	Sim	
Corte com ângulo	5	Não	
Corte com ângulo	5	Sim	

Largura da Peça (mm) =
Comprimento da Peça (mm) =
Espessura da Chapa (mm) =
Área de Orçamento (mm²)=

Inserir Valores

Figura 6-35 – Entrada de dados no sistema de orçamentação de ferramentas simples

A Figura 6-35 mostra a entrada do sistema. Esta entrada de dados é composta pelo tipo de ferramenta que pode ser de corte a 0° ou de corte com ângulo, seguido do nível de complexidade que depende directamente também do tipo de ferramenta. Este nível de complexidade pode ser encontrado na apresentação dos factores de cálculo do sistema, é também pedido pelo algoritmo se a ferramenta vai levar forma ou não. Normalmente pode levar

forma para um melhor apoio da peça, caso já venha modificada plasticamente de outras ferramentas simples. É pedido, também, o número de punções necessários, entendido como o número de cortes que a peça irá ter na ferramenta simples a ser estudada. Seguidamente é requerido que seja inserido no sistema a largura da peça, o comprimento, e a espessura da chapa. Esta largura e comprimento são da face a ser trabalhada antes de entrar na ferramenta simples em estudo como se pode verificar na Figura 6-6.

A peça da Figura 6-6 serve de modelo para uma melhor compreensão dos dados pedidos na largura e no comprimento da peça, por exemplo na peça em questão são feitos 3 furos nas abas de cima, logo o comprimento e a largura será um rectângulo que envolva a peça pela fase onde serão feitos os referidos furos.

Saída de dados do sistema

Corte a 0°			
Volume da Ferramenta (mm ³):	Inserir Valores	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Programação (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Torno (h):	Inserir Valores	27,50 €	Inserir Valores
Desbaste (h):	Inserir Valores	22,50 €	Inserir Valores
Convencional (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
CNC (h):	Inserir Valores	40,00 €	Inserir Valores
Rectificação (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Erosão Fio (h):	Inserir Valores	45,00 €	Inserir Valores
Montagem/Ensaio (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Matéria-Prima (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Tratamento Térmico (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Extras (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
		TOTAL :	0 €

Figura 6-36 – Saída de dados do sistema de orçamentação de ferramentas simples

É apresentado na Figura 6-36 a saída de dados do sistema. Esta saída é apresentada de igual forma para as ferramentas de corte a 0° e para as de corte com ângulo. O que muda entre as duas é o processo de calcular os valores monetários.

Como se pode verificar pela saída do sistema, este apresenta os valores monetários para cada sector individualmente como também o número de horas para os sectores de produção.

6.3.16 Aplicações do sistema a casos concretos

Análise para corte a 0°

É apresentado um exemplo para um caso de uma ferramenta simples com corte a 0° (ver Figura 6-37), a qual foi orçamentada originalmente por 15.440€ (obra P389).

É apresentado um exemplo para um caso de uma ferramenta simples de corte com ângulo. A ferramenta para a peça apresentada (obra N111) foi orçamentada originalmente por 15.555€ (ver Figura 6-39).

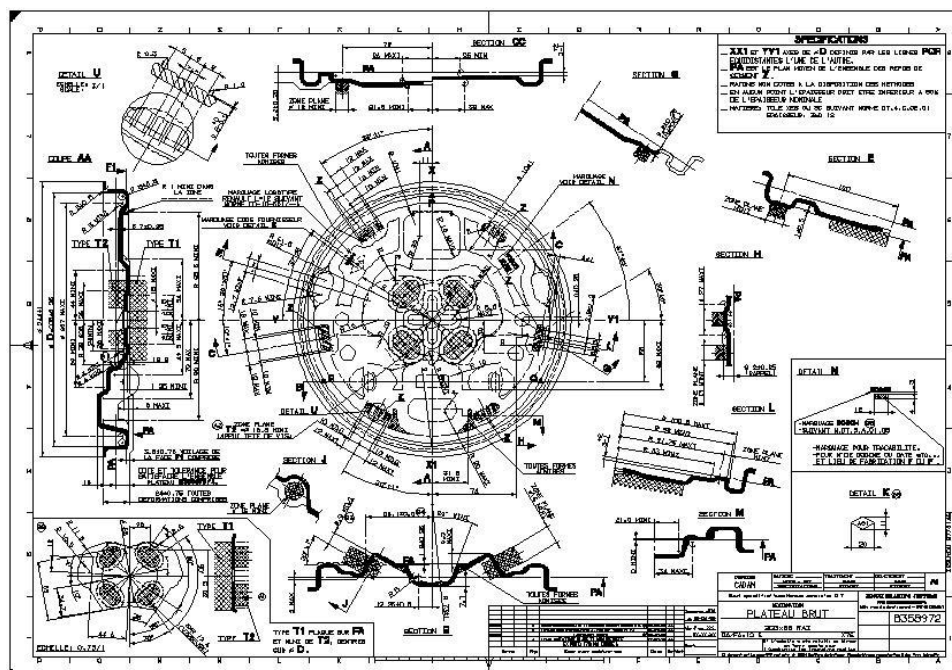


Figura 6-39 – Peça com corte ângulo (obra N111)

Inserindo todos os dados no sistema de ferramentas simples referentes à peça em questão, os mesmos dados podem ser encontrados na Tabela 6-4, ficando então com a saída de resultados por parte do algoritmo em questão que é apresentada na Figura 6-40.

Tal como no caso anterior, a diferença entre o valor orçamentado originalmente e o valor calculado pelo sistema de ferramentas simples é praticamente desprezável (ver Figura 6-40).

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte com ângulo	3	Não	1
Largura da Peça (mm) =	244,0		
Comprimento da Peça (mm) =	244,0		
Espessura da Chapa (mm) =	3,0		
Área de Orçamento (mm ²) =	118336		
Corte com ângulo			
Volume da Ferramenta (mm ³):	68046652	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	53	25,00 €	0 €
Programação (h):	25	25,00 €	0 €
Torno (h):	44	27,50 €	0 €
Desbaste (h):	17	22,50 €	0 €
Convencional (h):	32	30,00 €	0 €
CNC (h):	55	40,00 €	0 €
Rectificação (h):	19	30,00 €	0 €
Erosão Fio (h):	21	45,00 €	0 €
Montagem/Ensaio (h):	59	30,00 €	0 €
Matéria-Prima (€):	2.109 €		0 €
Tratamento Térmico (€):	267 €		0 €
Extras (€):	3.036 €		0 €
TOTAL :			15.396 €

Figura 6-40 – Saída do sistema para a obra N111

Sensibilidade do sistema a pequenas alterações na peça a estampar

Um dos grandes objectivos do sistema é a verificação dos impactos económicos em certas modificações da peça, para conseguir a melhor solução tanto para o cliente como para a empresa, Para o efeito, testou-se o sistema com pequenas alterações na peça a estampar para verificar-se o impacto que essa modificação poderá ter no custo da ferramenta de estampar.

Por exemplo, apresenta-se na Figura 6-41 as propriedades originais de uma peça a estampar imaginária.

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte com ângulo	3	Não	1
Largura da Peça (mm) =	240,0		
Comprimento da Peça (mm) =	200,0		
Espessura da Chapa (mm) =	1,5		
Área de Orçamento (mm^2)=	102000		
Corte com ângulo			
Volume da Ferramenta (mm^3):	50370120	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	50	25,00 €	0 €
Programação (h):	19	25,00 €	0 €
Torno (h):	39	27,50 €	0 €
Desbaste (h):	15	22,50 €	0 €
Convencional (h):	28	30,00 €	0 €
CNC (h):	48	40,00 €	0 €
Rectificação (h):	17	30,00 €	0 €
Erosão Fio (h):	19	45,00 €	0 €
Montagem/Ensaio (h):	52	30,00 €	0 €
Matéria-Prima (€):	1.901 €		0 €
Tratamento Térmico (€):	214 €		0 €
Extras (€):	2.945 €		0 €
TOTAL :			13.904 €

Figura 6-41 – Análise de sensibilidade para ferramentas simples no caso de partida

Confrontando o resultado obtido para as propriedades que foram inseridas (ver Figura 6-41) com dois outros resultados, um onde modifica-se a espessura de chapa para 4,0mm (ver Figura 6-42) e um outro onde se modifica o número de punções para 2 (ver Figura 6-43). Verifica-se que o sistema reage de acordo com o que se esperava.

É de notar nas pequenas alterações que foram feitas, por exemplo, para a mesma peça uma mudança de espessura quase que não tem impacto económico na ferramenta de estampar, enquanto a diferença entre ter um corte com ângulo ou ter dois tem um grande impacto económico na ferramenta de estampar.

Estes impactos económicos neste tipo de alterações estão bem presentes no sistema e pode-se ter uma completa noção dos impactos em poucos segundos, modificando apenas uma ou outra característica da peça a estampar.

É de referir que estas experiências foram realizadas na presença do gerente e do orçamentista da empresa. Os resultados foram aceites por ambos.

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte com ângulo	3	Não	1
Largura da Peça (mm) =	240,0		
Comprimento da Peça (mm) =	200,0		
Espessura da Chapa (mm) =	4,0		
Área de Orçamento (mm²)=	102000		
Corte com ângulo			
Volume da Ferramenta (mm³):	50370120	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	50	25,00 €	0 €
Programação (h):	19	25,00 €	0 €
Torno (h):	39	27,50 €	0 €
Desbaste (h):	15	22,50 €	0 €
Convencional (h):	28	30,00 €	0 €
CNC (h):	48	40,00 €	0 €
Rectificação (h):	17	30,00 €	0 €
Erosão Fio (h):	19	45,00 €	0 €
Montagem/Ensaio (h):	52	30,00 €	0 €
Matéria-Prima (€):	1.901 €		0 €
Tratamento Térmico (€):	214 €		0 €
Extras (€):	2.983 €		0 €
TOTAL :			13.942 €

Figura 6-42 – Análise de sensibilidade para ferramentas simples na espessura de chapa

Tipo de Ferramenta	Complexidade	Forma	Número de Punções
Corte com ângulo	4	Não	2
Largura da Peça (mm) =	240,0		
Comprimento da Peça (mm) =	200,0		
Espessura da Chapa (mm) =	1,5		
Área de Orçamento (mm²)=	102000		
Corte com ângulo			
Volume da Ferramenta (mm³):	160740240	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	62	25,00 €	0 €
Programação (h):	19	25,00 €	0 €
Torno (h):	38	27,50 €	0 €
Desbaste (h):	42	22,50 €	0 €
Convencional (h):	34	30,00 €	0 €
CNC (h):	67	40,00 €	0 €
Rectificação (h):	44	30,00 €	0 €
Erosão Fio (h):	46	45,00 €	0 €
Montagem/Ensaio (h):	96	30,00 €	0 €
Matéria-Prima (€):	3.198 €		0 €
Tratamento Térmico (€):	786 €		0 €
Extras (€):	3.603 €		0 €
TOTAL :			21.593 €

Figura 6-43 – Análise de sensibilidade para ferramentas simples no número de punções

7 Ferramentas progressivas

7.1 *Dados do orçamento de ferramentas progressivas*

Os dados da Tabela 7-1 foram retirados de todas as folhas de orçamento existentes de obras de ferramentas progressivas.

De verificar que os dados relativos às tarefas externas estão em unidade monetária, mas não quer dizer que não possa ser manipulável quando houver subidas ou descidas do valor praticado pelos fornecedores.

Tabela 7-1 – Dados de orçamento de ferramentas progressivas

Obra	Projecto (h)	Programação (h)	Torno (h)	Desbaste (h)	Convencional (h)	CNC (h)	Rectificação (h)	Erosão Fio (h)	Montagem (h)	Ensaio (h)	Materia-Prima	Tratamentos Térmicos	Extras
K050	140		35	80	200	85	160	140	120		7000	2250	2000
K200	120		35	60	80	80	80	80	120		2000	750	1250
K201	80		30	40	40	40	50	50	80		1750	500	1000
K202	160		40	120	160	160	160	120	220		6500	2000	3000
K203	160		40	100	120	150	140	120	220		5500	1750	2500
K209	240		60	130	220	200	220	340	240		12500	4500	7500
K218	100		100	60	80	60	110	80	120		2500	750	1500
K251	20		10	10	10	16	10	16	26		250	50	150
K288	240		80	200	160	240	200	240	360		9000	3000	5000
K289	200		60	180	140	300	180	260	260		8000	3000	4000
K407	100		40	80	60	100	80	100	160		3500	1250	2000
K452	80		40	60	60	100	80	100	140		3250	1150	2000
K564	80		40	80	40	60	60	100	100		2500	750	1250
K568	240		80	200	140	280	180	260	200		12500	4000	6000
K592	100		40	50	30	60	40	100	100		1500	500	1000
K680	200		80	200	160	270	140	260	240		15000	4000	9000
K723	120		50	100	80	120	80	120	160		4500	1500	2500
L050	200		80	180	160	260	200	240	360		8000	2400	7500
L198	180		60	160	100	190	200	200	200		7500	2500	4500
L202	200		80	160	100	240	180	240	280		9000	3000	6500
L203	180		80	160	100	220	180	160	260		6000	2500	5500
L204	180		80	160	100	220	180	160	260		6000	2500	5500
L226	280		80	180	120	240	220	360	300		9500	3250	6000
L257	200		160	100	100	180	160	180	210	60	10000	3000	6000
L258	180		100	100	100	160	140	160	240		5000	1500	4000
L278	100		40	60	40	80	50	100	130		3000	1000	1750
L279	240		80	160	120	220	180	300	380		9000	3000	6000
L280	240		100	180	140	240	180	320	420		10000	3500	7000
L303	150		60	80	60	110	110	120	160		3500	1250	2350
L304	120		40	80	40	80	80	80	120		2500	1000	1600
L305	242		80	220	110	250	220	260	340		11000	3500	5500
L363	300		100	140	120	250	200	300	340		9500	3000	6000
L482	360		100	240	140	360	240	300	400		16000	4500	7000
L484	160		60	100	80	160	100	160	200	60	5000	2000	4000
L507	40		20	20	15	25	20	40	40	10	2000	500	1000
L523	220		90	180	100	260	200	220	280	60	12000	3750	6000
L562	40		15	15	15	20	15	25	40	15	1250	500	1000

(Continuação)

Tabela 7-2 – Dados de orçamento de ferramentas progressivas (continuação)

Obra	Projecto (h)	Programação (h)	Torno (h)	Desbaste (h)	Convencional (h)	CNC (h)	Rectificação (h)	Erosão Fio (h)	Montagem (h)	Ensaios (h)	Materia-Prima	Tratamentos Térmicos	Extras
L564	80		30	40	30	80	50	50	70	20	2250	675	1500
L599	360		120	250	140	380	240	340	400	100	16500	5000	7000
L600	120		50	80	40	100	80	140	140	40	5000	1750	3500
L603	100		40	60	40	80	60	100	120	40	4000	1000	2500
L635	60		30	30	30	40	30	80	80	30	1750	600	1250
L638	160		60	140	120	160	140	170	190	60	6500	2150	5000
M034	120	40	60	120	80	160	120	180	120		6000	2000	4000
M035	100	25	40	80	60	120	80	100	80		4300	1000	2500
M036	100	25	40	80	60	120	80	100	80		4300	1000	2500
M038	320	100	100	300	200	450	320	360	320		18000	6000	9000
M048	240	80	100	240	160	320	240	300	280		13000	5000	9000
M206	160	40	60	80	80	140	100	160	120		7500	2250	5000
M255	80	15	30	60	40	70	60	50	70		1600	600	1200
M266	80	20	40	80	60	80	70	100	100		2500	1000	1700
M310	200	60	80	200	120	280	180	300	360		18000	6300	8000
M311	200	60	80	200	120	280	180	300	360		18000	6300	8000
M362	120	32	40	80	60	100	80	100	120		3500	1000	2200
M366	100	20	40	70	50	80	60	80	100		3000	1000	2000
M382	50	24	30	40	30	60	40	100	70		2500	750	2000
M385	50	24	30	60	40	80	40	100	70		3000	1000	2500
M394	280	100	120	250	140	380	240	340	400		16500	5000	7000
M439	70	16	24	40	24	50	30	60	50		3200	1300	2000
M531	120	60	280	100	100	260	160	220	300		12000	2450	8000
M543	220	110	70	90	70	220	110	160	180		3500	1000	3000
M544	160	40	70	120	100	140	160	180	120		5000	1500	3500
M545	100	32	50	60	30	80	70	100	80		2500	750	2000
M546	100	40	60	80	30	120	40	180	80		3200	750	2000
M626	140	30	60	80	80	260	120	220	130		6000	2100	4000
M691	160	32	80	120	120	200	160	180	200		7000	2500	3500
M692	200	40	100	180	160	250	200	220	280		8500	3500	4500
N008	220	40	80	200	180	360	220	280	300		10800	4500	6500
N017	300	60	100	280	200	500	240	320	420		15000	4750	9000
N020	120	32	40	70	50	120	60	120	120		4000	1000	3400
N021	300	60	100	240	160	460	220	280	500		27000	5000	10000
N056	220	60	80	160	120	240	160	260	280		6000	2000	5100
N077	200	60	80	120	80	280	130	260	300		9000	3000	6000
N101	280	60	80	200	120	300	180	300	340		12000	4000	6000
N124	120	60	80	160	120	380	180	400	300		12000	4000	8000
N150	260	60	80	180	120	240	200	240	300		9000	3000	6000
N234	300	80	100	260	180	340	240	300	360		15000	3500	8000
N299	220	60	100	240	160	460	220	280	480		27000	5000	10050

(Continuação)

Tabela 7-3 – Dados de orçamento de ferramentas progressivas (continuação)

Obra	Projecto (h)	Programação (h)	Torno (h)	Desbaste (h)	Convencional (h)	CNC (h)	Rectificação (h)	Erosão Fio (h)	Montagem (h)	Ensaio (h)	Materia-Prima	Tratamentos Térmicos	Extras
N300	100	40	50	100	80	160	120	120	160		4000	1275	3000
N407	60	16	24	32	24	50	32	70	50		2225	400	1800
N412	360	120	160	280	320	600	360	600	600		27500	10000	10400
N592	240	40	80	120	180	260	200	200	240		9000	3000	6100
N645	200	60	80	120	80	240	140	220	240		10000	3000	6300
O061	70	24	30	50	50	120	50	100	100		3600	800	1000
O111	80	20	40	60	80	100	80	160	100		5000	2050	3000
O123	120	30	70	90	80	110	120	160	140		5500	1750	3250
O295	320	100	120	240	280	500	260	400	480		20000	4200	8000
O314	200	70	80	120	150	250	140	260	300		13000	4950	6000
O390	300	100	120	200	140	660	280	460	600	200	20000	5900	20000
O391	300	100	120	220	140	700	280	500	600	200	22000	6000	24000
O392	340	120	130	200	120	800	300	600	720	220	25000	6450	25400
O394	400	130	140	240	160	1080	340	700	800	250	27000	8000	26000
O395	360	120	120	200	120	800	300	600	700	200	25000	6000	24900
O411	60	16	16	16	30	40	25	80	80		1250	500	1300
O432	280	70	100	180	180	480	220	380	480	100	19000	5750	9000
O439	140	40	40	60	80	220	100	150	160		4500	1800	3000
O440	120	40	60	70	70	150	90	110	150		5500	1825	4200
O461	60	20	36	30	20	70	30	80	60		2500	835	2000
O462	60	24	40	40	20	80	40	90	80		3000	950	2500
O544	240	60	160	140	160	300	220	170	240		9000	3500	6200
O663	100	30	60	80	80	130	80	300	185	45	6000	3000	4600
P012	400	120	120	240	220	600	280	540	550	150	30000	7000	15000
P013	340	100	120	220	200	560	220	460	500	120	25000	5850	13000
P044	100	42	60	80	40	160	100	120	162	22	3000	1000	2520
P045	60	28	40	40	40	100	40	100	77	7	3000	1000	2520
P047	60	29	40	40	40	80	40	95	77	7	3000	1000	2520
P070	340	100	120	200	180	650	360	480	535	135	25000	6000	9000
P071	300	104	100	200	160	500	240	370	375	75	25000	5000	10000
P072	50	16	20	30	30	60	30	70	55	15	2500	475	2000
P141	240	60	80	160	120	400	220	340	290	90	22000	4200	21900
P142	160	44	60	100	60	280	120	220	185	45	10000	2500	19500
P143	340	108	140	260	240	560	300	500	550	150	30000	6000	14000
P144	280	100	140	260	240	600	300	500	550	150	30000	6100	14000
P169	538	120	140	160	160	800	280	500	660	60	16000	4000	8000
P170	240	75	100	150	140	380	180	300	315	75	14000	4000	7500
P172	70	20	50	40	20	100	50	130	85	15	4000	1825	3000
P186	60	20	50	40	20	80	40	100	75	15	4000	1825	3000
P211	290	65	90	140	142	466	200	340	290	90	18000	4000	6000
P219	240	77	80	150	140	380	180	300	315	75	15000	4000	7000
P366	120	40	60	60	60	220	120	200	150	30	6000	2000	5000
P367	120	40	60	60	60	220	120	200	150	30	6000	2000	5000
P390	60	28	60	40	40	110	40	100	77	7	2500	550	2520
P410	180	60	180	60	60	380	180	140	275	75	10000	3500	8500

A Tabela 7-4 contém, para cada sector a média e o desvio padrão de todas as obras, para verificar a existência de variações significativas que permita a exploração de correlações.

Tabela 7-4 - Média e desvio padrão por sector nas ferramentas progressivas

	Média	Desvio padrão
Projecto	180	99.65
Programação	56	32.60
Torno	74	40.16
Desbaste	127	73.46
Fresagem convencional	102	61.69
Fresagem CNC	248	196.67
Rectificação	147	85.74
Electroerosão	221	141.48
Montagem	245	168.28

Para o caso dos dados obtidos nota-se que o desvio padrão é bastante alto, próximo da média de cada sector, o que quer dizer que os dados a trabalhar são sensíveis a pequenas mudanças. Portanto, devido à sensibilidade dos dados uma pequena mudança pode levar a um resultado discrepante comparando com o resultado antes da mudança.

Para se ter uma melhor ideia da distribuição do número de horas e dos valores monetários para cada sector ou parte da obra, pode verificar-se na Figura 7-1, Figura 7-2 e Figura 7-3 que relacionam em termos percentuais a ferramenta com o tempo e com o custo para três agrupamentos diferentes de sectores.

De notar que alguns sectores que inicialmente pareciam ser menos importantes, afinal têm uma importância igual ou mesmo superior a outros que pareciam ser mais importantes. É, por exemplo o caso do desbaste e da fresagem convencional, que em termos de horas tem uma percentagem muito superior ao esperado.

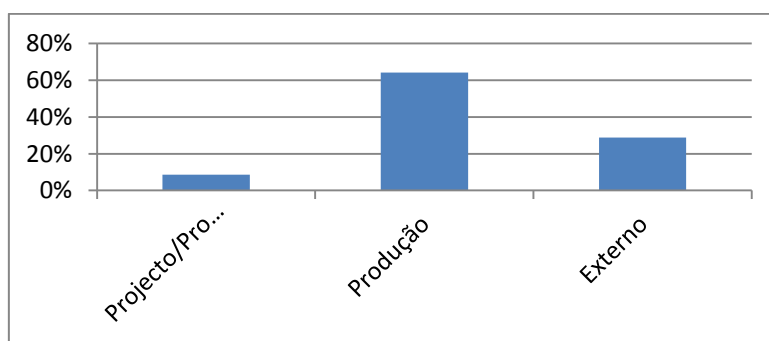


Figura 7-1 – Distribuição percentual dos valores monetários para ferramentas progressivas

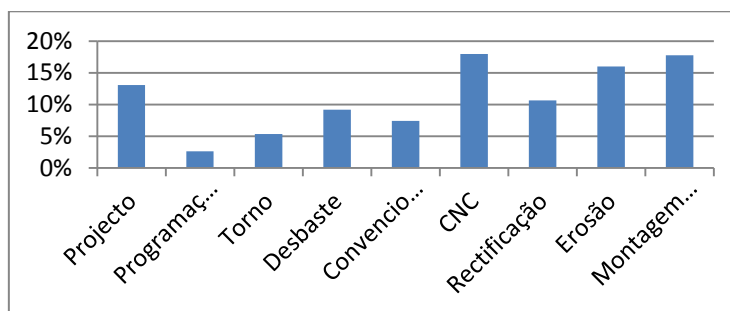


Figura 7-2 – Distribuição percentual de horas orçamentadas para ferramentas progressivas

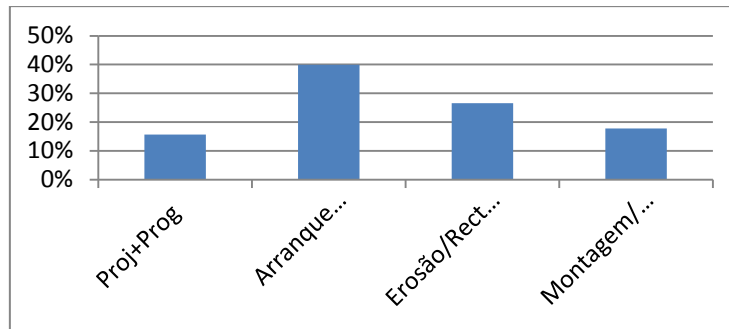


Figura 7-3 – Distribuição percentual conjunta de horas orçamentadas para ferramentas progressivas

7.2 Estudo dos itens relevantes de ferramentas progressivas

Durante os estudos feitos para a melhor definição dos itens relevantes, que serão associados às características da peça a estampar, encontrou-se um conjunto de itens que melhor se adequavam as necessidades de cálculo. Os itens relevantes para a criação do algoritmo do sistema de orçamentação das ferramentas progressivas são os seguintes:

- **Número de passos:** Este item contempla o número de passos total da ferramenta;
- **Passos de corte:** Este item contempla o número de passos de corte da ferramenta em questão;
- **Passos de dobra:** Este item contempla o número de passos de dobra da ferramenta em questão;
- **Passos em vazio:** Este item contempla o número de passos em vazio da ferramenta em questão, que serão os passos sem qualquer operação;
- **Número de módulos:** É o somatório de todos os módulos. Módulos de corte, de dobra e rectificação das peças (corte posterior à dobra).
- **Número de peças em simultâneo:** É o número de peças que a ferramenta fabrica por cada passo que dá (normalmente será uma ou duas peças por cada passo);
- **Área planificada;**
- **Espessura da chapa;**
- **Altura da ferramenta para cada módulo individualmente;**
- **Comprimento da ferramenta para cada módulo individualmente;**
- **Largura da ferramenta para cada módulo individualmente;**
- **Volume total da ferramenta.**

Um módulo é um conjunto independente de passos de uma ferramenta progressiva, onde os vários módulos de uma ferramenta estarão montados na estrutura geral da própria ferramenta de estampar. Normalmente uma ferramenta progressiva tem dois ou mais módulos, conforme a sua complexidade. Os dois módulos que normalmente existem são o módulo de corte o módulo de dobra, serão conjuntos de passos independentes.

Todos os itens descritos foram retirados de todos os projectos existentes na empresa relativos a ferramentas progressivas. De notar que são obras de ferramentas progressivas e em muitos casos são projectos com um nível de complexidade enorme, o que também acrescenta alguma complexidade na obtenção dos dados, levando muitas vezes a dúvidas só resolvidas directamente com o departamento técnico, mais concretamente associadas ao número de passos e à sua função.

Nas Tabela 7-5 e Tabela 7-6 são apresentadas todas as características de cada obra para cada item acima definido.

7.3 Cálculo do número de passos

Para calcular o número de passos de uma ferramenta progressiva é usado a metodologia de *Corrado, Poli* [Ref. 9]. Esta metodologia é dividida em duas partes, uma dedicada às características de corte e outra às características de forma (ou dobra). O algoritmo de cálculo distingue essa diferença automaticamente e não trata de forma independente, mas sim de uma forma contínua, primeiro as características de corte e posteriormente as características de forma. Caso seja necessário trata de característica de corte durante os passos de forma.

7.3.1 Determinação do número de passos para características de corte

Furos para pilotos

Os pilotos são necessários para localizar correctamente a chapa na ferramenta de estampar para as operações de corte e de forma. Embora algumas ferramentas tenham furos que possam ser usados como furos de pilotos, é prática corrente providenciar furos extra para os pilotos. Logo o algoritmo apresentado contempla um passo para o furo dos pilotos.

Características distintas e sentido das mesmas

Para uma maior facilidade na construção, na afinação e na manutenção de uma ferramenta, é prática comum produzir uma única característica em cada passo. Assim, características tais como furos, extrudidos, abas ou formas (ver Figura 7-4), são realizadas em passos separados. Assim, o algoritmo dará um passo para cada característica distinta.

No caso de características opostas, se duas ou mais características estão na mesma superfície a estampar e não no mesmo sentido, então diz-se que as características estão em sentidos opostos. Estas combinações de características causam um torque na ferramenta, mais propriamente no passo a trabalhar e podem ter que ser feitas em diferentes passos. Na Figura 7-5 está exemplificado alguns tipos de características comuns e o seu sentido.

Tabela 7-5 – Itens relevantes de ferramentas progressivas

Obra	Número de Passos	Passos de Corte	Passos de Dobra	Passos em Vazio	Número de módulos	Número de peças em simultâneo	Área Planificada (mm²)	Espessura da Chapa (mm)	Altura da Ferramenta (mm)					Profundidade da Ferramenta (mm)					Largura da Ferramenta (mm)					Volume da Ferramenta (mm³)
									Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	
K050	7	3	3	1	1	2	10243	3,50	304,5					700,0					1480,0					315462000
K200	8	5	2	1	1	2	1719+1082	1,50	236,5					370,0					600,0					52503000
K201	6	4	1	1	1	1	3346	1,10	236,5					420,0					580,0					57611400
K202	7	4	3	0	2	1	18397	1,00	306,5	306,5				550,0	550,0				800,0	1015,0				305963625
K203	10	6	4	0	1	1	12658	1,10	294,5					600,0					1100,0					194370000
K209	9	6	3	0	2	1	46807	1,50	274,5	274,5				730,0	730,0				995,0	900,0				379729575
K218	13	7	4	2	1	1	2290	2,00	254,7					400,0					850,0					85069800
K251	3	2	1	0	1	1	2200	1,25	207,5					228,0					315,0					14902650
K288	12	6	3	3	2	1	11137	4,00	304,5	304,5				610,0	610,0				680,0	1170,0				343628250
K289	8	5	3	0	1	1	53518	0,60	345,0					957,0					1460,0					482040900
K407	8	5	2	1	1	1	9783	3,00	274,5					620,0					1000,0					170190000
K452	8	4	2	2	1	1	9680	3,00	274,5					670,0					980,0					180236700
K564	2	2	0	0	1	1	24645	1,50	256,5					561,0					539,0					77560214
K568	11	6	5	0	2	2	14943	1,20	326,5	326,5				700,0	700,0				770,0	1390,0				493668000
K592	2	2	0	0	1	1	14520	1,50	236,5					525,0					485,0					60218813
K680	7	5	2	0	4	2	43487	1,80	344,5	344,5	303,0	344,5		960,0	720,0	720,0	960,0		1000,0	274,0	249,0	435,0		596868000
K723	6	5	1	0	1	1	23216	0,70	254,5					550,0					920,0					128777000
L050	11	6	5	0	2	1	20890	1,20	314,5	314,5				680,0	680,0				1138,0	900,0				435846680
L198	10	6	3	1	1	1	29560	2,00	428,5					860,0					1300,0					479063000
L202	10	6	4	0	2	2	14258	1,17	304,5	304,5				740,0	740,0				980,0	1255,0				503612550
L203	13	8	5	0	2	1	14777	1,20	324,7	324,7				570,0	570,0				560,0	905,0				271140735
L204	13	8	5	0	2	1	14854	1,20	324,7	324,7				570,0	570,0				560,0	905,0				271140735
L226	13	6	6	1	2	1	22796	2,00	304,5	418,5				1240,0	1240,0				900,0	900,0				806889000
L257	13	7	6	0	3	2	17166	2,70	324,2	324,2	324,2			700,0	700,0	700,0			700,0	815,0	780,0			520827300
L258	20	9	5	6	5	1	8012	3,00	410,5					1040,0					2075,0					885859000
L278	7	5	1	1	1	1	3660	0,97	314,5					580,0					850,0					118566500
L279	10	7	3	0	2	2	15839	3,00	314,5	314,5				750,0	750,0				1340,0	880,0				523642500
L280	11	8	3	0	2	2	17650	1,60	314,5	314,5				850,0	850,0				1380,0	1150,0				676332250
L303	10	5	5	0	1	2	5617	1,50	316,5					590,0					1060,0					197939100
L304	8	4	3	1	1	1	5344	1,50	314,5					490,0					815,0					125595575
L305	8	4	4	0	2	1	62890	0,70	307,0	307,0				750,0	750,0				700,0	1090,0				412147500
L363	10	7	2	1	2	1+1	32071+32922	0,97	320,5	320,5				940,0	940,0				1120,0	860,0				596514600
L482	10	5	5	0	5	1	86940	1,00	522,0	522,0	522,0	522,0	522,0	780,0	780,0	780,0	780,0	780,0	730,0	290,0	344,0	840,0	660,0	1166106240
L484	9	5	3	1	1	1	15850	2,00	312,5					680,0					1265,0					260906250
L507	3	3	0	0	1	2	50327	4,00	323,0					970,0					850,0					266313500
L523	8	5	3	0	4	1	32598	1,27	376,5	376,5	376,5	376,5		850,0	850,0	850,0	850,0		660,0	420,0	300,0	460,0		588846000
L562	3	3	0	0	1	1	6730	2,00	286,0					500,0					470,0					66975000
L564	12	8	2	2	1	2	4279	2,00	315,5					760,0					655,0					157055900
L599	10	5	5	0	2	1	39110	2,00	314,0	375,0				780,0	780,0				1020,0	1750,0				761693400
L600	8	5	2	1	1	1	9814	2,00	313,0					670,0					1250,0					262137500
L603	9	7	1	1	1	1	7430	3,00	328,0					600,0					1760,0					346368000
L636	4	4	0	0	1	1	5660	1,50	262,0					560,0					620,0					90980400
L639	12	7	4	1	2	1	12040	1,50	312,0					600,0	600,0				795,0	1030,0				341640000
M034	7	5	2	0	1	2	7040	2,00	309,5					640,0					905,0					179262400
M035	6	3	3	0	1	1	4650	2,00	314,5					500,0					840,0					132090000
M036	6	3	3	0	1	1	4650	2,00	314,5					500,0					840,0					132090000
M038	16	7	7	2	2	1	25830	2,00	314,0	394,0				800,0	800,0				990,0	1880,0				841264000
M048	12	4	7	1	3	1	22260	2,00	373,0	373,0	373,0			1000,0	1000,0	1000,0			865,0	915,0	676,0			916088000
M206	8	5	2	1	1	2	15160	0,97	312,0					700,0					1475,0					322140000
M255	10	6	1	3	1	1	2540	1,00	286,0					400,0					800,0					91520000
M266	8	4	1	3	1	2	3150	2,50	282,0					500,0					680,0					95380000
M310	9	4	5	0	2	1	66496	1,00	314,0					1050,0	1050,0				800,0	1160,0				646212000
M311	10	5	5	0	2	1	64920	1,00	314,0	314,0				1020,0	1020,0				820,0	1205,0				648567000
M362	11	7	3	1	1	1	4290	1,50	290,0					490,0					940,0					133574000
M366	14	7	6	1	1	1	2361	1,47	280,0					500,0					920,0					128800000
M382	2	2	0	0	1	1	3407	4,00	325,0					550,0					800,0					143000000
M385	2	2	0	0	1	1	5394	3,50	325,0					600,0					900,0					175500000
M394	12	6	6	0	2	1	56410	2,00	314,0	390,0				840,0	840,0				880,0	1700,0				789028800
M439	8	5	2	1	1	2	4310	2,93	323,0					717,0					965,0					223485315
M538	12	4	7	1	3	2	17170	2,70	400,0	400,0	400,0			700,0	700,0				700,0					642600000
M543	6	4	2	0	1	2	7185	2,00	333,0					550,0					800,0	815,0	780,0			146520000
M544	13	10	2	1	1	2	3975	5,00	341,0					800,0					830,0					226424000
M545	8	6	0	2	1	1	1675	4,00	341,0					460,0					700,0					109802000
M546	3	3	0	0	1	2	4785	4,00	325,0					600,0					900,0					175500000

(Continuação)

Tabela 7-6 – Itens relevantes de ferramentas progressivas (continuação)

Obra	Número de Passos	Passos de Corte	Passos de Dobra	Passos em Vazio	Número de módulos	Número de peças em simultâneo	Área Planificada (mm²2)	Espessura da Chapa (mm)	Altura da Ferramenta (mm)					Profundidade da Ferramenta (mm)					Largura da Ferramenta (mm)				
									Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5
K050	7	3	3	1	1	2	10243	3,50	304,5					700,0					1480,0				
K200	8	5	2	1	1	1+1	1719+1082	1,50	236,5					370,0					600,0				
K201	6	4	1	1	1	1	3346	1,10	236,5					420,0					580,0				
K202	7	4	3	0	2	1	18397	1,00	306,5	306,5				550,0	550,0				800,0	1015,0			
K203	10	6	4	0	1	1	12658	1,10	294,5					600,0					1100,0				
K209	9	6	3	0	2	1	46807	1,50	274,5	274,5				730,0	730,0				995,0	900,0			
K518	13	7	4	2	1	1	2290	2,00	254,7					400,0					835,0				
K251	3	2	1	0	1	1	2200	1,25	207,5					228,0					315,0				
K288	12	6	3	3	2	1	11137	4,00	304,5	304,5				610,0	610,0				680,0	1170,0			
K289	8	5	3	0	1	1	53518	0,60	345,0					957,0					1460,0				
K407	8	5	2	1	1	1	9783	3,00	274,5					620,0					1000,0				
K452	8	4	2	2	1	1	9680	3,00	274,5					670,0					980,0				
K564	2	2	0	0	1	1	24645	1,50	256,5					561,0					539,0				
K568	11	6	5	0	2	2	14943	1,20	326,5	326,5				700,0	700,0				770,0	1390,0			
K592	2	2	0	0	1	1	14520	1,50	236,5					525,0					485,0				
K680	7	5	2	0	4	2	43497	1,80	344,5	344,5	303,0	344,5		960,0	720,0	720,0	960,0	1000,0	274,0	249,0	435,0		
K723	6	5	1	0	1	1	23216	0,70	254,5					550,0					920,0				
L050	11	6	5	0	2	1	29890	1,20	314,5	314,5				680,0	680,0				1138,0	900,0			
L198	10	6	3	1	1	1	29560	2,00	428,5					860,0					1300,0				
L202	10	6	4	0	2	2	14258	1,17	304,5	304,5				740,0	740,0				980,0	1255,0			
L203	13	8	5	0	2	1	14777	1,20	324,7					570,0	570,0				560,0	905,0			
L204	13	8	5	0	2	1	14854	1,20	324,7	324,7				570,0	570,0				560,0	905,0			
L226	13	6	6	1	2	1	22796	2,00	304,5	418,5				1240,0	1240,0				900,0	900,0			
L257	13	7	6	0	3	2	17166	2,70	324,2					700,0					700,0				
L258	20	9	5	6	5	1	8012	3,00	410,5	324,2	324,2			1040,0	700,0	700,0		2075,0	815,0	780,0			
L278	7	5	1	1	1	1	3660	0,97	314,5					580,0					650,0				
L279	10	7	3	0	2	2	15839	3,00	314,5	314,5				750,0	750,0				1340,0	880,0			
L280	11	8	3	0	2	2	17650	1,60	314,5	314,5				850,0	850,0				1380,0	1150,0			
L303	10	5	5	0	1	2	5617	1,50	316,5					590,0					1060,0				
L304	8	4	3	1	1	1	5344	1,50	314,5					490,0					815,0				
L305	8	4	4	0	2	1	62890	0,70	307,0	307,0				750,0	750,0				700,0	1090,0			
L363	10	7	2	1	2	1+1	32071+32922	0,97	320,5	320,5				940,0	940,0				1120,0	860,0			
L482	10	5	5	0	5	1	86840	1,00	522,0	522,0			522,0	780,0	780,0				730,0	290,0	344,0	840,0	660,0
L484	9	5	3	1	1	1	15850	2,00	312,5		522,0	522,0		660,0	780,0	780,0	780,0	1265,0					
L507	3	3	0	0	1	2	50327	4,00	323,0					970,0					850,0				
L523	8	5	3	0	4	1	32598	1,27	376,5	376,5	376,5	376,5		850,0	850,0	850,0		660,0	420,0	300,0	460,0		
L562	3	3	0	0	1	1	6730	2,00	285,0					500,0					470,0				
L564	12	8	2	2	1	2	4279	2,00	315,5					760,0					655,0				
L599	10	5	5	0	2	1	39110	2,00	314,0	375,0				780,0	780,0				1020,0	1750,0			
L600	8	5	2	1	1	1	9814	2,00	313,0					670,0					1250,0				
L603	9	7	1	1	1	1	7430	3,00	328,0					600,0					1760,0				
L635	4	4	0	0	1	1	5660	1,50	262,0					560,0					620,0				
L638	12	7	4	1	2	1	12040	1,50	312,0	312,0				600,0	600,0				795,0	1030,0			
M034	7	5	2	0	1	2	7040	2,00	309,5					640,0					905,0				
M035	6	3	3	0	1	1	4650	2,00	314,5					500,0					840,0				
M036	6	3	3	0	1	1	4650	2,00	314,5					500,0					840,0				
M038	16	7	7	2	2	1	25830	2,00	314,0	394,0				800,0	800,0				990,0	1880,0			
M048	12	4	7	1	3	2	22260	2,00	373,0	373,0	373,0			1000,0	1000,0	1000,0		865,0	915,0	676,0			
M206	8	5	2	1	1	2	15160	0,97	312,0					700,0					1475,0				
M255	10	6	1	3	1	1	2540	1,00	286,0					400,0					800,0				
M266	8	4	1	3	1	2	3150	2,50	282,0					500,0					680,0				
M310	9	4	5	0	2	1	66496	1,00	314,0	314,0				1050,0	1050,0				800,0	1160,0			
M311	10	5	5	0	2	1	64920	1,00	314,0	314,0				1020,0	1020,0				820,0	1205,0			
M362	11	7	3	1	1	1	4290	1,50	290,0					490,0					940,0				
M366	14	7	6	1	1	1	2361	1,47	280,0					500,0					920,0				
M382	2	2	0	0	1	1	3407	4,00	325,0					550,0					800,0				
M385	2	2	0	0	1	1	5394	3,50	325,0					600,0					900,0				
M394	12	6	6	0	2	1	56410	2,00	314,0	390,0				840,0	840,0				880,0	1700,0			
M439	8	5	2	1	1	2	4310	2,93	323,0					717,0					965,0				
M531	12	4	7	1	3	2	17170	2,70	400,0	400,0	400,0			700,0	700,0	700,0		700,0	815,0	780,0			

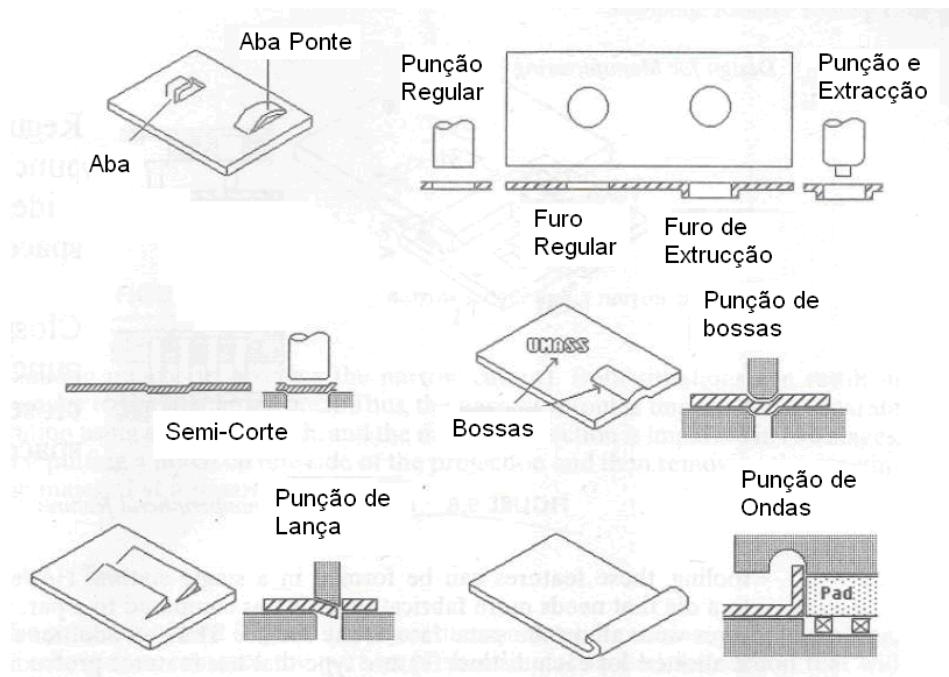


Figura 7-4 – Características de corte [Ref. 9]

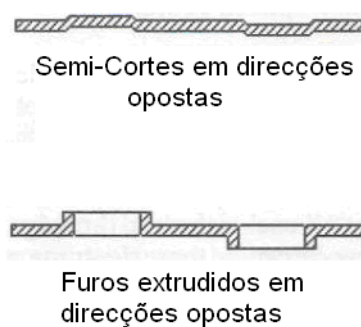


Figura 7-5 – Características em sentidos opostos [Ref. 9]

Características pouco espaçadas

Dois características que não sejam periféricas e que estejam espaçadas pelo menos de três vezes a espessura da chapa, ou qualquer característica que não seja periférica mas que esteja a menos de três vezes a espessura da chapa da periferia, são consideradas pouco espaçadas como mostra a Figura 7-6.

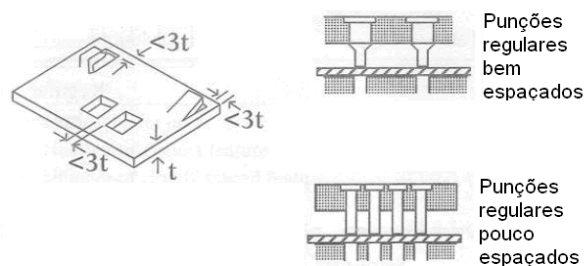


Figura 7-6 – Características pouco espaçadas [Ref. 9]

Abas

A presença de abas fará com que seja necessário um passo para entalhar, e um passo para libertar a porção de chapa necessária em volta da secção que irá formar a aba. Assim, o algoritmo considera uma estação para produzir a aba e outra para entalhar.

Gravuras

As gravuras são pequenas conformações produzidas na superfície da peça estampada. Letras e reforços são alguns exemplos de gravuras. A espessura da chapa mantém-se inalterada e normalmente têm contornos suaves. A operação normalmente não é feita em simultâneo com qualquer outra operação e por isso é necessário um passo para esta operação.

Ondas

Ondas são características que resultam por rolar a margem da peça estampada. O diâmetro da onda convém ser entre dez a vinte vezes a sua espessura de chapa. Um punção de ondular rola a margem da peça para a forma pretendida, enquanto a peça é presa por uma almofada de pressão. Esta operação necessita de dois passos.

7.3.2 Determinação do número de passos para características de forma

Estações de forma

Os passos onde ocorrem operações de forma e que são executados numa ferramenta progressiva são definidos como número de passos de forma. Neste caso é necessário haver um passo precedente para libertar a parte da peça que será formada e também para obter o contorno. Assim, quando existem formas na peça é necessário haver um passo a mais em relação ao número de formas da peça.

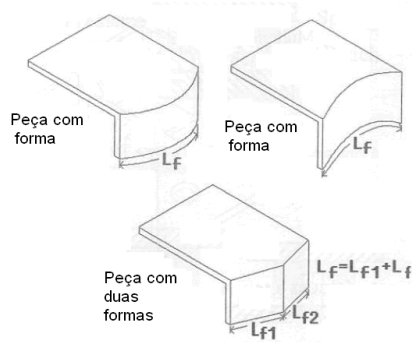


Figura 7-7 – Identificação do número de características de forma [Ref. 9]

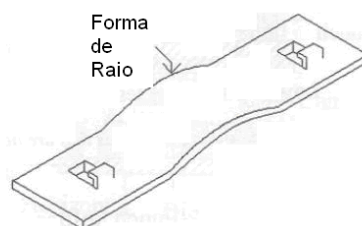


Figura 7-8 – Identificação de características de forma [Ref. 9]

Direcção da forma

Peças com duas formas (ver Figura 7-7) podem ser formadas num passo único (só com uma estação de forma). Para peças com formas num único sentido só é necessário um conjunto de almofadas de pressão, enquanto com formas em sentidos opostos são necessários dois conjuntos de almofadas de pressão (ver Figura 7-9), o que aumentará o custo de fabrico de uma ferramenta. Para o caso de formas em sentidos opostos é usual utilizar-se dois passos, neste caso o algoritmo assume o passo extra.

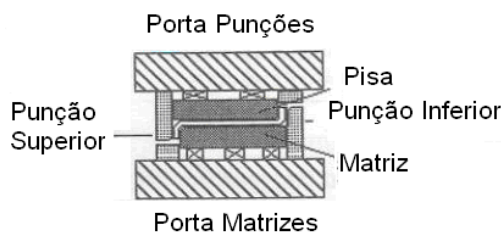


Figura 7-9 – Sentido de forma [Ref. 9]

Ângulo da forma

Para peças com ângulo de forma entre 90° e 105° , um único passo é o suficiente (ver Figura 7-10), visto que neste intervalo de ângulos a peça pode ser inclinada e assim fazer como se fosse um ângulo inferior simples. Para peças com ângulos superiores são necessários dois passos, um passo para fazer o ângulo a 90° e um outro passo para fazer o restante ângulo com uma cunha ou um "carro" (ver Figura 7-11).

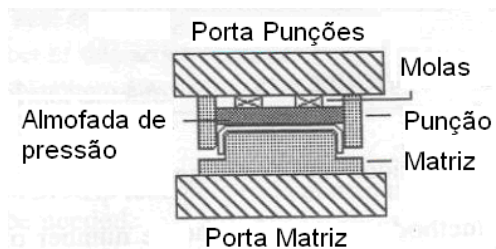


Figura 7-10 – Ângulo de forma num só passo [Ref. 9]

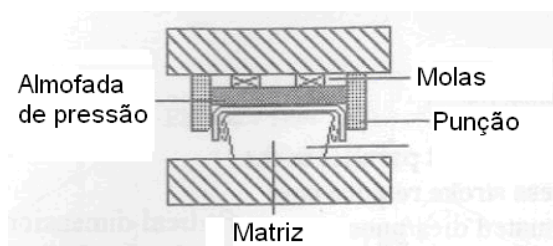


Figura 7-11 – Ângulo de forma em dois passos [Ref. 9]

Características na face após a dobra

Características da peça, normalmente furos ou figuras, que não pertençam ao plano perpendicular ao fecho da ferramenta, e que tenham tolerâncias na ordem dos 0,2mm, necessitam de ser executadas após a dobra. Se alguma característica necessita de ser feita após a dobra, é necessário um "carro" ou uma cunha para executar a figura e normalmente um

único passo é suficiente (ver Figura 7-12). Porém depende do espaço que o “carro” ou a cunha ocupa, se o “carro” ou cunha estiver paralelo ao avanço da chapa na ferramenta, ocupa muito menos espaço em termos de largura de banda do que se estiver perpendicular.

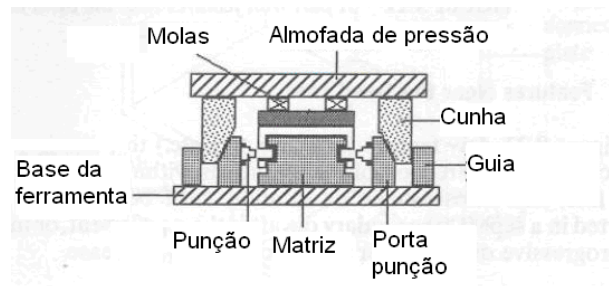


Figura 7-12 – Características na face após a dobra [Ref. 9]

Características perto da linha de dobra

Qualquer característica que se encontre a menos de três vezes da espessura de chapa em relação à linha de dobra (ver Figura 7-13), terá que ser executada num outro passo ou numa outra ferramenta. Este procedimento é exigido para que a forma e/ou a localização seja preservada. Em ambos os casos existe custos acrescidos.

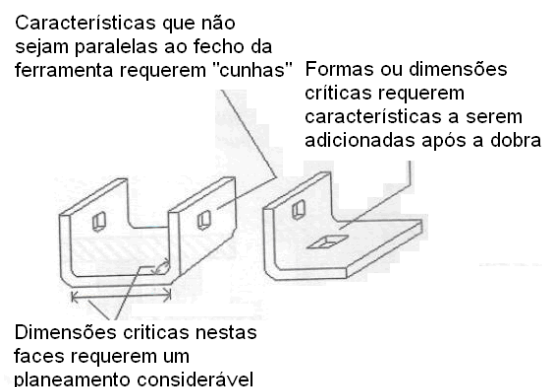


Figura 7-13 – Características perto da linha de dobra [Ref. 9]

7.3.3 Número de passos de forma

Introdução

Uma das maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do sistema de orçamentação prende-se com o cálculo do número de passos de forma exigido para produzir a peça a estampar. Nesta secção é exposto um método para estimar o número de passos exigidos para produzir a peça em questão, também desenvolvido por *Corrado, Poli* [Ref. 9]. O método exige inicialmente uma divisão da peça em faces elementares.

Divisão da peça em faces elementares

Uma peça estampada que não seja plana pode ser decomposta em conjuntos de faces elementares. Cada face elementar é uma “peça” de estampagem que é limitada pela periferia, linhas de curvatura, formas de raio ou uma combinação destes (ver Figura 7-14).

Uma face elementar tem uma orientação espacial constante (todos os vectores normais à superfície apontam na mesma direcção), excepto no caso de formas de raio. As formas de raio são faces elementares com um raio constante, e todos os vectores normais concorrem no eixo de curvatura da forma.

A movimentação de uma face para a outra implica a passagem de uma linha de curvatura ou de o limite de uma forma de raio. Uma peça plana é uma face única.

Uma face elementar que está ligada (por uma linha de curvatura ou por uma forma de raio) a outra face elementar é chamada de *face elementar com ligação única*. Similarmente, uma face elementar ligada a outras duas faces elementares é chamada de *face elementar com ligação dupla*, assim sucessivamente (ver Figura 7-15).

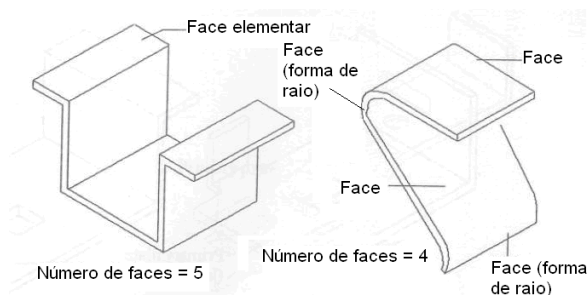


Figura 7-14 – Faces elementares da peça [Ref. 9]

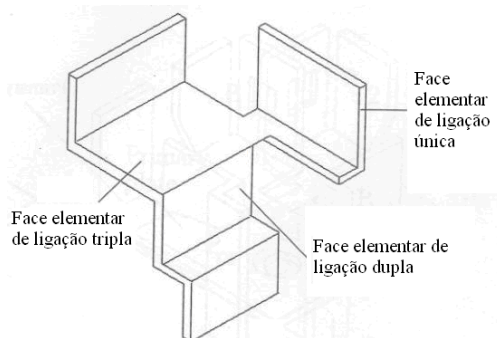


Figura 7-15 – Ligações entre faces elementares [Ref. 9]

A face primária de uma peça

A face primária de uma peça é a face que será mais provável que esteja paralela ao plano da ferramenta (seja simples ou progressiva). Como citado anteriormente, a direcção do fecho da ferramenta é sempre normal ao plano da mesma.

A face primária de uma peça é determinada procurando uma face elementar com as seguintes propriedades na seguinte ordem de significância.

1. A face elementar com a maior área.
2. Se uma peça tem uma forma complexa com várias faces, assim a face primária será aquela que é percorrida pelo maior número de ligações a outras faces.
3. Se nenhuma face elementar tem uma área superior e se a peça não é de uma forma complexa, assim a face elementar primária será aquela que terá maior número de características dentro da sua face.

A Figura 7-16, a Figura 7-17 e a Figura 7-18 são exemplos para cada uma das propriedades acima indicadas.

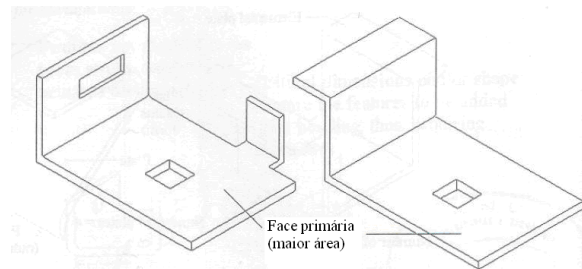


Figura 7-16 – Face primária com a maior área [Ref. 9]

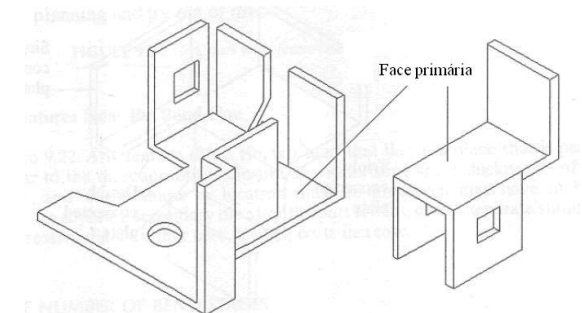


Figura 7-17 – Face primária com maior número de ligações [Ref. 9]

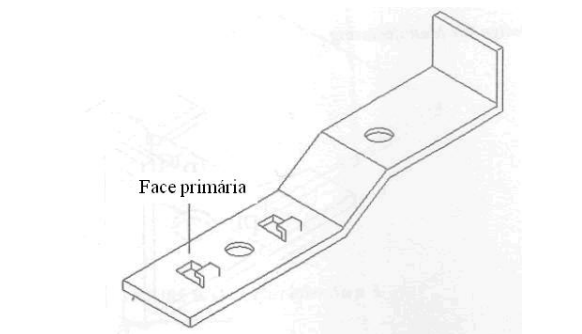


Figura 7-18 – Face primária com maior número de características [Ref. 9]

Número aproximado de passos para a forma

A peça representada na Figura 7-19 será usada para ilustrar o procedimento sistematizado utilizado para determinar o número de passos de forma. A peça tem as suas faces elementares numeradas como especificado pelo procedimento.

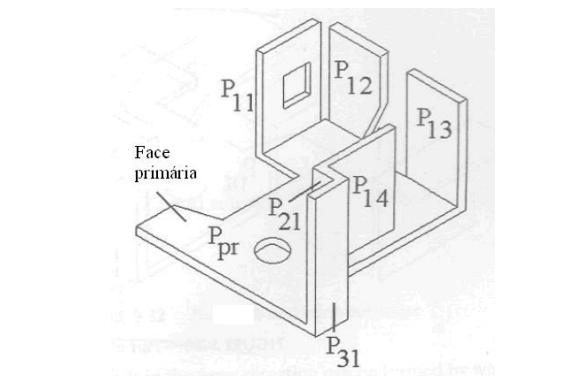


Figura 7-19 – Numeração das faces elementares [Ref. 9]

Passo 1. Remover todas as faces com ligação única.

Excluindo a face elementar primária, determinar todas as faces elementares da estampagem e numerá-las com P_{ij} , onde o índice “i” é o passo corrente e “j” é o número de identificação da face elementar com ligação única.

Remover todas as faces com ligação única identificadas como P_{11} , P_{12} , P_{13} e P_{14} . A peça depois de remover as faces descritas é apresentada na Figura 7-20.

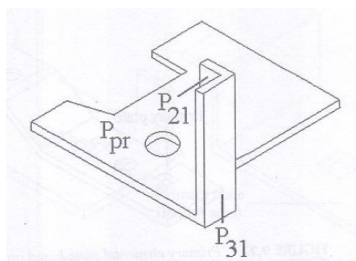


Figura 7-20 – Peça após remoção das faces com ligação única [Ref. 9]

Passo 2. Remover todas as faces com ligação dupla da peça modificada.

Identificar todas as faces elementares com ligação dupla na peça modificada. Uma vez mais a face elementar não é considerada. A única face candidata é a face identificada como P_{21} . Remove-se esta face elementar da peça que será modificada uma segunda vez. O resultado deste passo é apresentado na Figura 7-21.

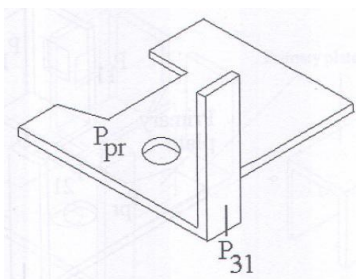


Figura 7-21 – Peça após remoção das faces com ligação dupla [Ref. 9]

Passo 3. Repetir o passo 2.

A única face elementar com ligação única na peça modificada é identificada como P_{31} . Remove-se esta face elementar. A peça modificada depois deste passo é apresentada na Figura 7-22. Depois do terceiro passo, a peça modificada é uma única face elementar, e que é a face elementar primária. O procedimento termina quando a face elementar primária é a única face elementar que resta.

O número de passos para chegar até este estado de modificação é o número de passos de forma. Neste exemplo, o número de passos de forma será de 3.

Este processo de identificar as faces elementares com ligação única, removendo-as da peça e repetindo o processo até à face elementar primária ser a única face na modificação da

peça pode ser aplicado a qualquer peça de estampagem. Este processo permite obter uma aproximação simples do número de passos para a forma da peça sem ter em conta os detalhes da ferramenta.

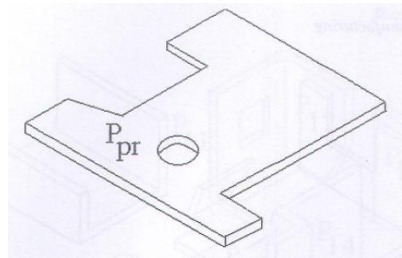


Figura 7-22 – Face elementar primária [Ref. 9]

A Figura 7-23 mostra duas peças com passos de forma diferentes, determinados com a utilização do procedimento descrito.

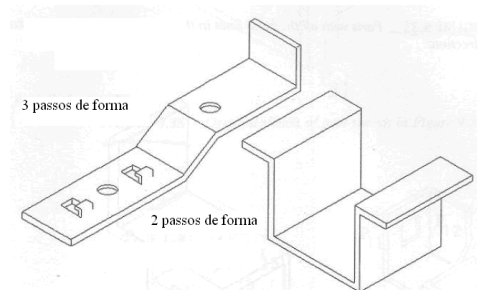


Figura 7-23 – Número de passos de forma para dois casos [Ref. 9]

Sentido da forma

Para uma peça a estampar com um único passo de forma, se todas as linhas de curvatura estejam no mesmo plano e se todas as faces elementares com ligação única estejam para o mesmo lado em relação à face primária, as dobras são no mesmo sentido.

Peças a estampar onde as dobras não sejam todas no mesmo sentido têm faces elementares de ligação única nos dois lados da face primária. Estas peças requerem uma ferramenta progressiva mais complexa de forma a realizar as operações.

A Figura 7-24 mostra uma peça com as dobras todas numa única direcção e a Figura 7-25 mostra uma outra peça com dobras em direcções opostas.

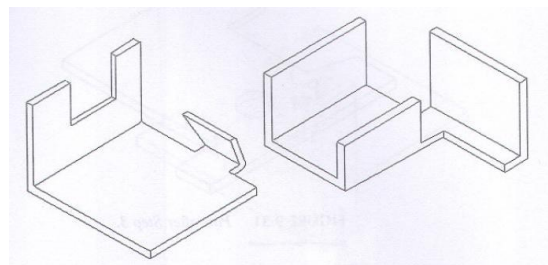


Figura 7-24 – Dobras em um único sentido [Ref. 9]

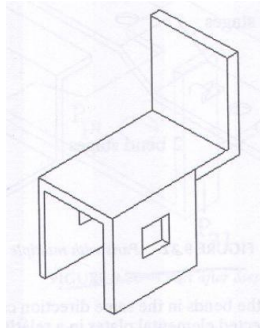


Figura 7-25 – Dobras em dois sentidos [Ref. 9]

7.3.4 Cálculos Finais

A partir de todos os procedimentos para calcular o número de passos de uma ferramenta progressiva, foi criado um algoritmo que pudesse calcular o número de passos de corte, de forma e o total de passos, isto porque interessa saber o número de passos de corte e de forma e não só o número de passos total.

É apresentado de seguida todas as entradas e saídas do processo de cálculo para o número de passos.

Fluxograma para cálculo do número de passos de uma ferramenta progressiva

Após a organização de todos os processos de cálculo individualmente, para uma boa visualização e percepção do algoritmo de cálculo do número de passos é apresentado na Figura 7-26 o respectivo fluxograma.

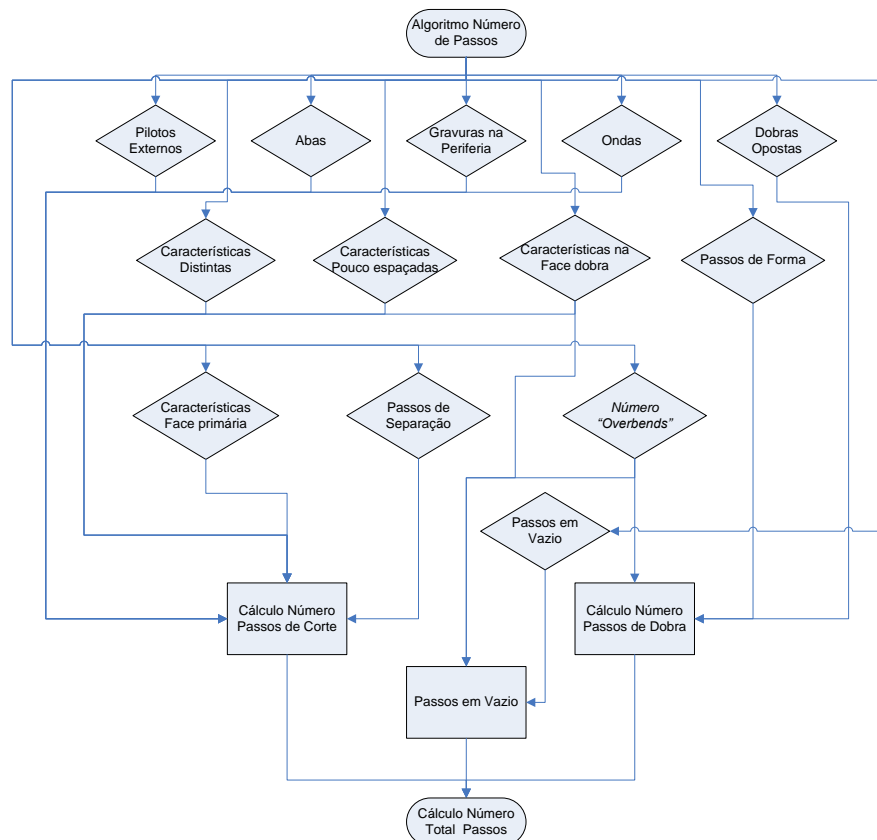


Figura 7-26 – Fluxograma para determinação do número de passos

Implementação do algoritmo em folha de cálculo

O algoritmo de estimação do número de passos de corte, de dobra e do total de passos foi implementado em Excel. A folha de cálculo pode ser vista na Figura 7-27.

Como se pode verificar, é necessário o preenchimento de todos os campos destinados para esse efeito, nomeadamente:

- Identificar se são necessários ou não furos para pilotos externos;
- Se existem ou não abas, gravuras perto da periferia, ondas e dobras em sentidos opostos;
- O número de características distintas e de características pouco espaçadas;
- Passos para a separação da peça, de características na face de dobra, dos passos em vazio, dos passos de forma, do número de dobras superiores a 105° e finalmente do número de características na face primária perto da linha limite.

A partir de todos os dados inseridos o algoritmo irá calcular o número de passos de dobra, de corte e o número total de passos, os quais constituem estimativas para a elaboração do orçamento de ferramentas de estampar.

Furos para pilotos externos	Abas	Gravuras perto da periferia da peça	Ondas	Dobras em direcções opostas	Número de características distintas
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
Sim	Sim	Sim	Não	Sim	
Sim	Sim	Não	Sim	Sim	
Sim	Não	Sim	Sim	Sim	
Não	Sim	Sim	Sim	Sim	
Sim	Sim	Não	Não	Sim	
Sim	Não	Não	Sim	Sim	
Não	Não	Sim	Sim	Sim	
Sim	Não	Sim	Não	Sim	
Não	Sim	Sim	Não	Sim	
Sim	Não	Não	Sim	Sim	
Não	Sim	Não	Não	Sim	
Não	Não	Sim	Não	Sim	
Não	Não	Não	Sim	Sim	
Não	Não	Não	Não	Sim	
Sim	Sim	Sim	Sim	Não	
Sim	Sim	Sim	Sim	Não	
Sim	Sim	Não	Sim	Não	
Sim	Não	Sim	Sim	Não	
Não	Sim	Sim	Sim	Não	
Sim	Sim	Não	Não	Não	
Sim	Não	Não	Sim	Não	
Não	Não	Sim	Sim	Não	
Sim	Não	Sim	Não	Não	
Não	Sim	Sim	Não	Não	
Sim	Não	Não	Não	Não	
Não	Sim	Não	Não	Não	
Não	Não	Sim	Não	Não	
Não	Não	Não	Não	Não	
Não	Não	Não	Não	Não	
Número de características pouco espaçadas		Número de passos de curvatura			
Número de passos para a separação da peça		Número de "overbends"			
Número de características na face de dobra		Número de características na face primária perto da linha limite			
Número de passos em vazio					
Número de Passos Dobra	0	Número de Passos Corte	0	Número de Passos	0

Figura 7-27 – Algoritmo do cálculo de número passos

Aplicações reais do algoritmo de cálculo do número de passos

O caso em análise é referente à peça representada na Figura 7-28. De notar que para a peça em questão a ferramenta progressiva só faz a platina da peça, isto é, cria o planificado da peça com todos os passos de corte efectuados. Neste caso os passos de dobra serão executados em ferramentas simples de dobra. A ferramenta em questão (obra L635) foi executada usando quatro passos de corte.

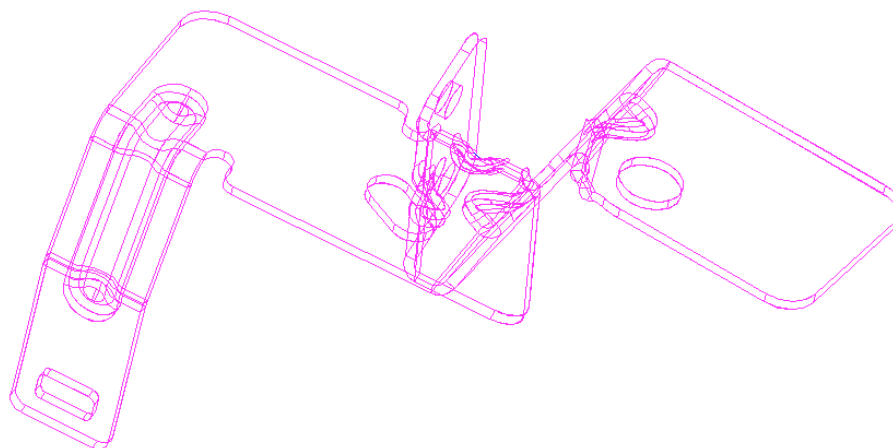


Figura 7-28 – Peça para análise do cálculo dos passos de corte

Inserindo na folha de cálculo todos os dados e características referentes à peça em questão, obtém-se como resultado o valor de quatro para o número de passos (ver Figura 7-29).

Furos para pilotos externos	Abas	Gravuras perto da periferia da peça	Ondas	Dobras em direcções opostas	Número de características distintas
Sim	Não	Não	Não	Não	2
Número de características pouco espaçadas	0	Número de passos de curvatura	0		
Número de passos para a separação da peça	1	Número de "overbends"	0		
Número de características na face de dobra	0	Número de características na face primária perto da linha limite	0		
Número de passos em vazio	0				
Número de Passos Dobra	0	Número de Passos Corte	4	Número de Passos	4

Figura 7-29 – Representação da folha de cálculo aplicada à peça da Figura 7-28

Como se pode verificar, o resultado do algoritmo está em perfeita consonância com o que foi realizado na obra L635. Neste caso foram consideradas duas características distintas e há um passo de separação da peça da fita.

A aplicação seguinte é referente à peça da Figura 7-30, a peça em questão foi realizada numa única ferramenta progressiva, onde, eram feitos os passos de corte, os de dobra, e ainda um passo em vazio no final, este foi uma opção do cliente, o que acontece às vezes. A ferramenta em questão (obra N017) foi executada usando cinco passos de corte, quatro de dobra e um passo em vazio no final, antes do passo de separação da peça da fita.

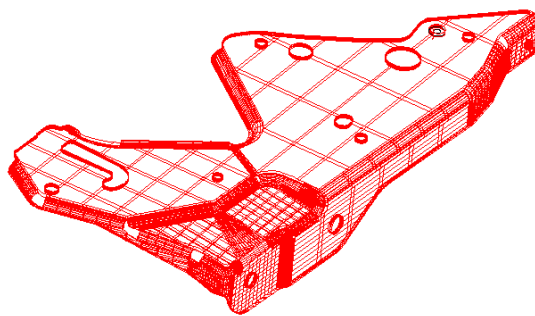


Figura 7-30 – Peça para experimentação do algoritmo do cálculo do número total de passos

Furos para pilotos externos	Abas	Gravuras perto da periferia da peça	Ondas	Dobras em direcções opostas	Número de características distintas
Sim	Não	Não	Não	Não	3
Número de características pouco espaçadas	0	Número de passos de curvatura	3		
Número de passos para a separação da peça	1	Número de "overbends"	0		
Número de características na face de dobra	0	Número de características na face primária perto da linha limite	0		
Número de passos em vazio	1				
Número de Passos Dobra	4	Número de Passos Corte	5	Número de Passos	10

Figura 7-31 – Representação da folha de cálculo aplicada à peça da Figura 7-30

Comparando o valor resultante do algoritmo (ver Figura 7-31) com o valor real, constata-se que os valores são iguais.

Da análise da Tabela 7-7 observa-se que o algoritmo comporta-se muito bem. Existem ferramentas progressivas desde 2 passos até ultrapassando a dezena de passos, mas o algoritmo consegue acompanhar esse enorme desfasamento de valores existentes nas ferramentas progressivas. Como se pode verificar, de 16 obras obtidas, apenas em 7 o resultado calculado difere, mas é de salientar que esta diferença é de somente um passo.

Tabela 7-7 – Comparação entre o número de passos calculado e o real

Obra	Nr Passos Real	Nr Passos Calculado
K289	8	8
L202	10	9
L303	10	9
M034	7	7
M036	6	6
M385	2	3
M692	11	12
N021	15	14
O111	3	3
O123	9	9
N300	9	8
P012	11	11
P047	3	3
P141	10	9
P144	11	11
P390	3	3

As folhas de cálculo correspondentes aos cálculos das obras referidas na Tabela 7-7, podem ser encontrados nos anexos de forma a verificar o resultado obtido.

7.4 Cálculo do orçamento das ferramentas progressivas

7.4.1 Factores de cálculo

Todos os factores de cálculo futuramente representados neste estudo foram obtidos de forma empírica. Através de um estudo minucioso a todos os projectos e todos os orçamentos, e também com a colaboração dos profissionais de cada sector em questão, afim de saber-se quais os factores que poderiam influenciar o tempo de execução dependendo da ferramenta de estampar.

Existiu a tentativa de conseguir os factores a partir de cálculos matemáticos, usando para o efeito cálculo estatístico e Matlab, mas os resultados não foram satisfatórios. Isto, por causa do grande nível de incerteza inserido nos cálculos. Portanto, a melhor solução foi seguir um cálculo empírico em conjunto com a experiencia da empresa.

Tabela 7-8 – Factores de cálculo ferramentas progressivas

Factor	Formula do Factor
Volume da Ferramenta	1
Projecto	SE("Passos Dobra">=3;3;SE("Passos Dobra">0;2;SE("Nr Passos">5;1,5;1)))
Programação	SE("Passos Dobra">=2;5;SE("Passos Dobra">0;2;SE("Nr Passos">5;1,5;0,5)))
Torno	SE("Nr Modulos">1;6;SE("Nr Passos">=10;3;SE("Nr Passos">=7;2,5;SE("Nr Passos">=4;2;1))))
Desbaste	SE("Nr Passos">=10;4;SE("Nr Passos">=7;3;SE("Nr Passos">=4;1,5;1)))
Convencional	SE("Nr Passos">=10;5;SE("Nr Passos">=7;4;SE("Nr Passos">=4;3;1)))
CNC	SE("Passos Dobra">=4;5;SE("Passos Dobra">=2;3,5;SE("Passos Dobra">0;2;1)))
Rectificação	SE("Passos Corte">=8;4;SE("Passos Corte">=5;3;SE("Passos Corte">=3;2;1)))
Erosão Fio	SE("Passos Corte">=8;4;SE("Passos Corte">=5;3;SE("Passos Corte">=3;2;1)))
Montagem - Ensaio	SE("Passos Dobra">=4;4;SE("Passos Dobra">0;3;SE("Nr Passos">=7;3;SE("Nr Passos">=4;2;1))))
Matéria-Prima	SE("Passos Dobra">=4;2;SE("Passos Dobra">0;1,5;SE("Nr Passos">=7;2;SE("Nr Passos">=4;1,5;1))))
Tratamento Térmico	SE("Passos Dobra">=4;2;SE("Passos Dobra">=2;1,5;1))
Extras	0,5*(SE("Nr Modulos">=4;2;SE("Nr Modulos">=3;3;SE("Nr Modulos">=2;5;1))))+0,5*(1+"Esp Chapa"*0,1)

Tabela 7-9 – Factor de espessura de chapa no cálculo ferramentas progressivas

Factor da espessura da chapa	
Extras	Factor = (esp. da chapa / 10) + 1

7.4.2 Cálculo do volume da ferramenta

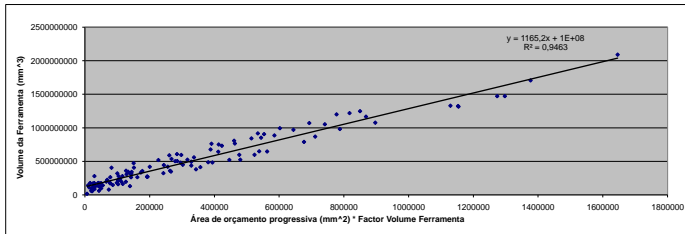


Figura 7-32 – Cálculo volume da ferramenta de ferramentas progressivas

$$Volume = 1165,2 * (AreaOrçamento) * FVF + 1 * 10^8$$

$$r^2 = 0,9463$$

Onde:

FVF – Factor de Volume Ferramenta

Pode-se comparar na Tabela 7-11 e a Tabela 7-12 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra L562 dá um desvio de 84%.

7.4.3 Cálculo tempo de projecto

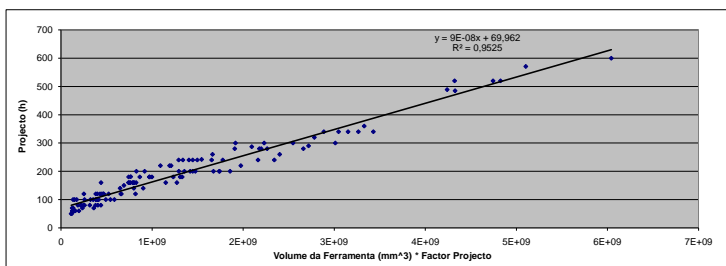


Figura 7-33 – Cálculo do projecto de ferramentas progressivas

$$Projecto = 9 * 10^{-8} * (Volume) * FP + 69,962$$

$$r^2 = 0,9525$$

Onde:

FP – Factor de Projecto

Pode-se comparar na Tabela 7-13 e a Tabela 7-14 o cálculo efectuado pelo algoritmo com o cálculo executado na realidade na empresa, nota-se que o algoritmo porta-se bem, exceptuando em casos que foi verificado o porquê de dar desvios superiores a 15%, e em todos os casos chegou-se à conclusão que são casos pontuais e não normais. Por exemplo a obra M544 dá um desvio de 46%.

7.4.4 Cálculo tempo de programação

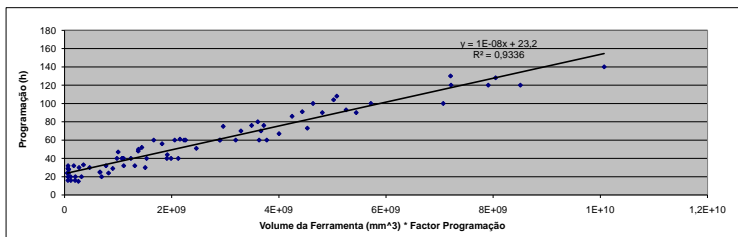


Figura 7-34 – Cálculo da programação de ferramentas progressivas

$$Programação = 1 * 10^{-8} * (Volume) * FP + 23,2$$

$$r^2 = 0,9336$$

Onde: FP – Factor de Programação

7.4.5 Cálculo tempo de torno

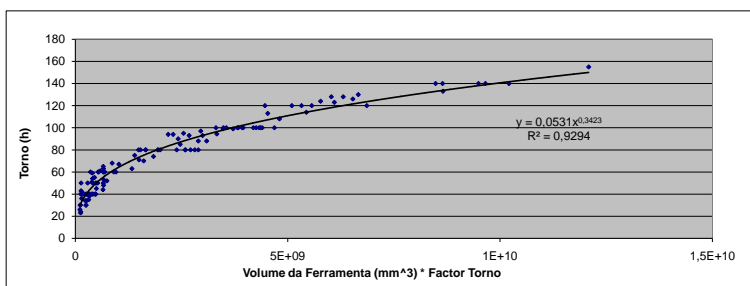


Figura 7-35 – Cálculo de torno de ferramentas progressivas

$$Torno = 0,0531 * ((Volume) * FT)^{0,3423}$$

$$r^2 = 0,9294$$

Onde:

FT – Factor de Torno

7.4.6 Cálculo tempo de desbaste

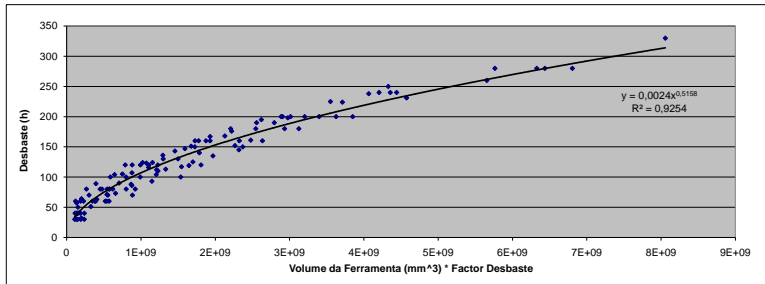


Figura 7-36 – Cálculo de desbaste de ferramentas progressivas

$$Desbaste = 0,0024 * ((Volume) * FD)^{0,5158}$$

$$r^2 = 0,9254$$

Onde:

FC – Factor de Desbaste

7.4.7 Cálculo tempo de fresagem convencional

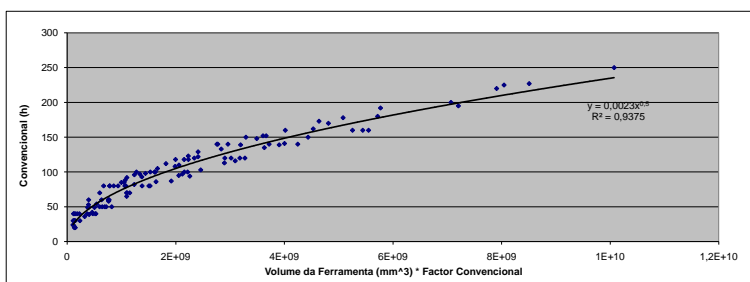


Figura 7-37 – Cálculo de fresagem convencional de ferramentas progressivas

$$Convencional = 0,0023 * ((Volume) * FC)^{0,5}$$

$$r^2 = 0,9375$$

Onde:

FC – Factor de Convencional

7.4.8 Cálculo tempo de fresagem CNC

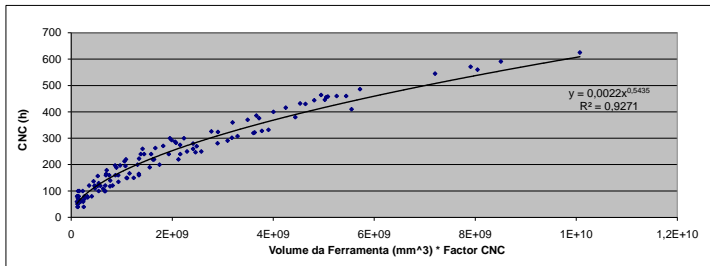


Figura 7-38 – Cálculo de fresagem CNC de ferramentas progressivas

$$CNC = 0,0022 * ((Volume) * FC)^{0,5435}$$

$$r^2 = 0,9271$$

Onde:

FC – Factor de CNC

7.4.9 Cálculo tempo de Rectificação

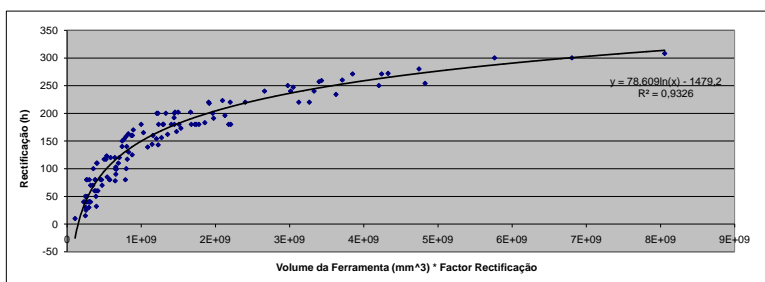


Figura 7-39 – Cálculo de rectificação de ferramentas progressivas

$$Rectificação = 78,609 * Ln((Volume) * FR) - 1479,2$$

$$r^2 = 0,9326$$

Onde:

FR – Factor de Rectificação

7.4.10 Cálculo tempo de Electroerosão

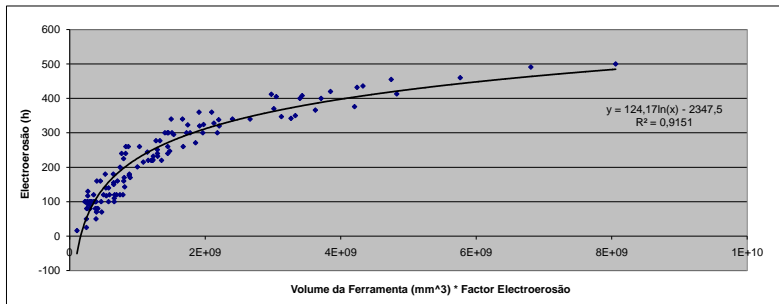


Figura 7-40 – Cálculo de Electroerosão de ferramentas progressivas

$$Electroerosão = 124,17 * \ln((Volume) * FE) - 2347,5$$

$$r^2 = 0,9151$$

Onde: FE – Factor de Electroerosão

7.4.11 Cálculo tempo de Montagem/Ensaio

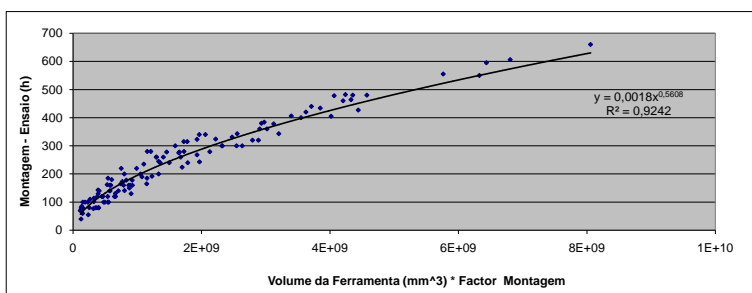


Figura 7-41 – Cálculo de montagem/ensaio de ferramentas progressivas

$$Montagem = 0,0018 * ((Volume) * FM)^{0,5608}$$

$$r^2 = 0,9242$$

Onde:

FM – Factor de Montagem

7.4.12 Cálculo valor de Matéria-prima

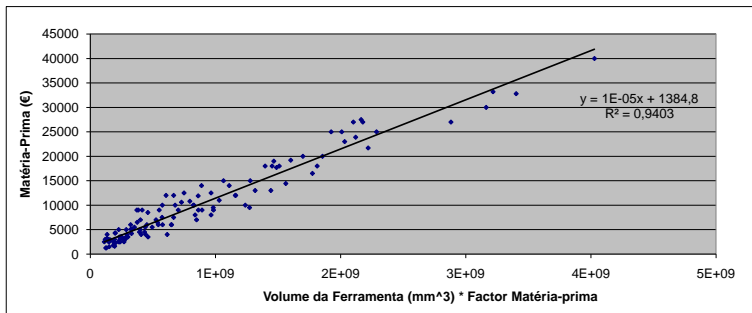


Figura 7-42 – Cálculo de Matéria-prima de ferramentas progressivas

$$Materia - prima = 1 * 10^{-5} * ((Volume) * FM) + 1384,8$$

$$r^2 = 0,9403$$

Onde:

FM – Factor de Matéria-prima

7.4.13 Cálculo valor de Tratamento Térmico

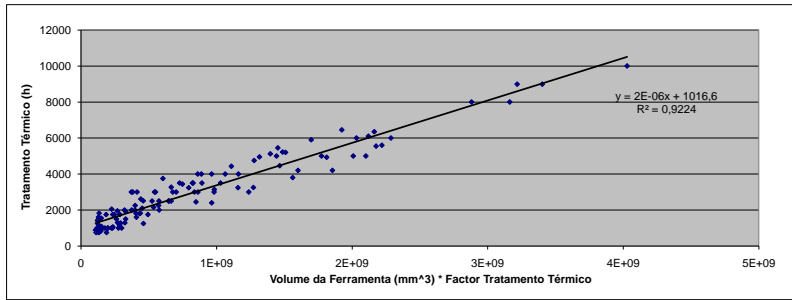


Figura 7-43 – Cálculo de tratamento térmico de ferramentas progressivas

$$Tratamento - Termico = 2 * 10^{-6} * ((Volume) * FT) + 1016,6$$

$$r^2 = 0,9224$$

Onde:

FT – Factor de Tratamento Térmico

7.4.14 Cálculo valor de Extras

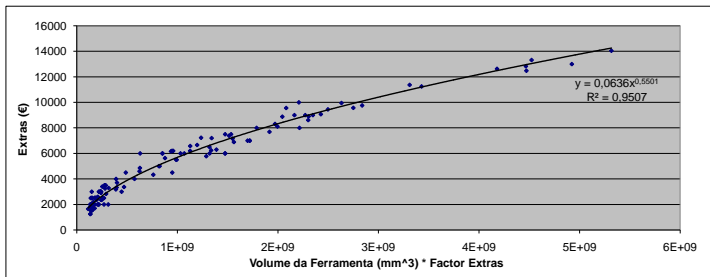


Figura 7-44 – Cálculo de extras de ferramentas progressivas

$$Extras = 0,0636 * ((Volume) * (0,5 * FE + 0,5 * FEC))^{0,5501}$$

$$r^2 = 0,9507$$

Onde:

FE – Factor de Extras

FEC – Factor de Espessura de Chapa

Testes – Avaliação do volume

ferramenta

Obra	Volume Real (mm ³)	Volume Calculado (mm ³)	Erro (%)
K050	315462000	266805206	-15%
K200	52503000	126055680	140%
K201	57611400	123352403	114%
K202	305963625	249795733	-18%
K203	194370000	247237856	27%
K209	379729575	499268400	31%
K218	85069800	134628464	58%
K251	14902650	107677120	623%
K288	343628250	255454701	-26%
K289	482040900	558300800	16%
K407	170190000	191036685	12%
K452	180236700	190078208	5%
K564	77560214	186001192	140%
K568	493668000	482397347	-2%
K592	60218813	150668992	150%
K680	596868000	709516800	19%
K723	128777000	262029107	103%
L050	435846680	482448528	11%
L198	479063000	443841920	-7%
L202	503612550	431698112	-14%
L203	271140735	323451883	19%
L204	271140735	324616246	20%
L226	806868000	636235200	-21%
L257	520827300	619154771	19%
L258	885859000	781053600	-12%
L278	118566500	129801184	9%
L279	523642500	468478496	-11%
L280	676332250	551670560	-18%
L303	197939100	230673888	17%
L304	125595575	149729126	19%
L305	412147500	514971600	25%
L363	596514600	654846400	10%
L482	1166106240	1110122880	-5%
L484	260906250	265930480	2%
L507	266313500	324497600	22%
L523	588846000	403343949	-32%
L562	66975000	123485008	84%
L564	157055900	219455987	40%
L599	761693400	554927520	-27%
L600	262137500	191325158	-27%
L603	346368000	409411200	18%
L635	90966400	126334848	39%
L638	341640000	268059136	-22%
M034	179262400	214644992	20%
M035	132090000	132453280	0%
M036	132090000	132453280	0%
M038	841264000	698466400	-17%
M048	916088000	721427968	-21%
M206	322140000	382145792	19%
M255	91520000	129545280	42%
M266	95880000	158625280	65%
M310	646212000	754881600	17%
M311	648567000	726383200	12%
M362	133574000	154891408	16%
M366	128800000	138448413	7%
M382	143000000	111889067	-22%
M385	175500000	118822902	-32%
M394	789028800	887393344	12%
M439	223485315	180214272	-19%
M531	642600000	579331456	-10%
M543	146520000	200291104	37%
M544	226424000	220216720	-3%
M545	109802000	115586880	5%
M546	175500000	133395472	-24%
M626	332592000	301192888	-9%

Tabela 7-10 – Testes cálculo volume de ferramenta de ferramentas progressivas

Obra	Volume Real (mm ³)	Volume Calculado (mm ³)	Erro (%)
M691	320416000	262475776	-18%
M692	354977000	306514528	-14%
N008	419100480	397662880	-5%
N017	765304000	638910560	-17%
N020	279279000	221048408	-21%
N021	1218703200	1051003240	-14%
N056	262387900	288601248	10%
N077	405609600	276224800	-32%
N101	417669600	333000592	-20%
N124	750680000	580843616	-23%
N150	471440600	275224448	-42%
N234	518181300	364139456	-30%
N299	1247302000	1088720000	-13%
N300	403992000	195684832	-52%
N407	159740000	131685568	-18%
N412	1316044800	1442623600	10%
N592	359125560	247819456	-31%
N645	448307200	451868000	1%
O061	141108800	164383120	16%
O111	236925000	226637584	-4%
O123	278623800	234838144	-16%
O295	868530000	927616800	7%
O314	523867050	658475584	26%
O390	969826500	849391600	-12%
O391	905082200	743947520	-18%
O392	1051863750	962280160	-9%
O394	1323975000	1440878800	9%
O395	1706880000	1701493760	0%
O411	73670000	127585288	73%
O432	852230250	733153024	-14%
O439	319258800	216587536	-32%
O440	212352000	219158208	3%
O461	143000000	147598144	3%
O462	175500000	147598144	-16%
O544	594594000	446342800	-25%
O663	484848000	543179200	12%
P012	1471470000	1581626000	7%
P013	1471701000	1608984464	9%
P044	196080000	176864256	-10%
P045	173550000	157880832	-9%
P047	167765000	128475136	-23%
P070	1076075000	1143541616	6%
P071	1199814000	1004388000	-16%
P072	162191400	236199088	46%
P141	993030000	800711680	-19%
P142	443527260	383681216	-13%
P143	981225000	1016252640	4%
P144	1329251000	1413555232	6%
P169	2091654400	2014348032	-4%
P170	731840000	592359296	-19%
P172	278656200	134232976	-52%
P186	358785000	405921600	13%
P211	1070270000	906388400	-15%
P219	606837000	430930400	-29%
P366	500750250	424486272	-15%
P367	558307750	492044928	-12%
P390	175864000	149831488	-15%
P410	534790650	411307216	-23%

Tabela 7-11 – Testes cálculo volume de ferramenta de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de projecto

Obra	Projecto Real (h)	Projecto Calculado (h)	Erro (%)
K050	140	142	-1%
K200	120	93	30%
K201	80	92	-13%
K202	160	137	16%
K203	160	137	17%
K209	240	205	17%
K218	100	106	-6%
K251	80	89	-10%
K288	181	139	30%
K289	200	221	-9%
K407	100	104	-4%
K452	80	104	-23%
K564	80	87	-8%
K568	240	200	20%
K592	100	84	20%
K680	200	198	1%
K723	120	117	2%
L050	200	200	0%
L198	180	190	-5%
L202	200	187	7%
L203	180	157	14%
L204	180	158	14%
L226	280	242	16%
L257	200	237	-16%
L258	240	281	-15%
L278	100	93	7%
L279	240	196	22%
L280	240	219	10%
L303	150	132	13%
L304	120	110	9%
L305	242	209	16%
L363	180	188	-4%
L482	360	370	-3%
L484	160	142	13%
L507	100	99	1%
L523	220	179	23%
L562	70	81	-14%
L564	80	109	-27%
L599	260	220	18%
L600	120	104	15%
L603	120	144	-16%
L635	60	81	-26%
L638	160	142	12%
M034	120	109	10%
M035	100	106	-5%
M036	100	106	-5%
M038	287	259	11%
M048	240	265	-9%
M206	160	139	15%
M255	80	93	-14%
M266	80	99	-19%
M310	280	274	2%
M311	280	266	5%
M362	120	112	7%
M366	100	107	-7%
M382	50	80	-38%
M385	50	81	-38%
M394	280	310	-10%
M439	70	102	-32%
M531	200	226	-12%
M543	120	106	13%
M544	160	110	46%
M545	100	86	17%
M546	100	82	22%
M626	140	151	-7%
M691	160	141	14%

Tabela 7-12 – Testes tempo projecto de ferramentas progressivas

Obra	Projecto Real (h)	Projecto Calculado (h)	Erro (%)
M692	200	153	31%
N008	220	177	24%
N017	300	242	24%
N020	120	130	-7%
N021	340	354	-4%
N056	180	148	22%
N077	200	145	38%
N101	180	160	13%
N124	200	227	-12%
N150	160	144	11%
N234	220	168	31%
N299	340	364	-7%
N300	100	123	-19%
N407	60	88	-32%
N412	485	459	6%
N592	180	137	32%
N645	200	192	4%
O061	100	114	-13%
O111	80	90	-11%
O123	120	112	7%
O295	320	320	0%
O314	220	248	-11%
O390	300	299	0%
O391	300	271	11%
O392	340	330	3%
O394	520	459	13%
O395	571	529	8%
O411	60	81	-26%
O432	280	268	5%
O439	140	128	9%
O440	120	129	-7%
O461	60	83	-28%
O462	60	83	-28%
O544	240	190	26%
O663	100	119	-16%
P012	520	497	5%
P013	520	504	3%
P044	100	102	-2%
P045	60	84	-29%
P047	60	82	-26%
P070	340	379	-10%
P071	300	341	-12%
P072	70	91	-23%
P141	260	286	-9%
P142	160	174	-8%
P143	340	344	-1%
P144	489	452	8%
P169	600	614	-2%
P170	240	230	4%
P172	70	82	-15%
P186	80	106	-25%
P211	290	315	-8%
P219	240	186	29%
P366	160	185	-13%
P367	200	203	-1%
P390	60	83	-28%
P410	180	181	-1%

Tabela 7-13 – Testes tempo projecto de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de programação

Obra	Programação Real (h)	Programação Calculado (h)	Erro (%)
K050	0	37	
K200	0	30	
K201	0	26	
K202	0	36	
K203	0	36	
K209	0	48	
K218	0	30	
K251	0	25	
K288	0	36	
K289	0	51	
K407	0	33	
K452	0	33	
K564	0	24	
K568	0	47	
K592	0	24	
K680	0	59	
K723	0	28	
L050	0	47	
L198	0	45	
L202	0	45	
L203	0	39	
L204	0	39	
L226	0	55	
L257	0	54	
L258	0	62	
L278	0	26	
L279	0	47	
L280	0	51	
L303	0	35	
L304	0	31	
L305	0	49	
L363	0	56	
L482	0	79	
L484	0	36	
L507	0	25	
L523	0	43	
L562	0	24	
L564	0	34	
L599	0	51	
L600	0	33	
L603	0	31	
L635	0	24	
L638	0	37	
M034	40	34	18%
M035	25	30	-16%
M036	25	30	-16%
M038	76	58	31%
M048	80	59	35%
M206	40	42	-5%
M255	15	26	-42%
M266	20	26	-24%
M310	60	61	-2%
M311	60	60	1%
M362	32	31	3%
M366	20	30	-34%
M382	24	24	1%
M385	24	24	1%
M394	91	68	35%
M439	29	32	-10%
M531	60	52	15%
M543	47	33	42%
M544	40	34	17%
M545	32	25	28%
M546	32	24	34%
M626	30	38	-22%
M691	32	36	-12%
M692	40	39	4%

Tabela 7-14 – Testes tempo programação de ferramentas progressivas

Obra	Programação Real (h)	Programação Calculado (h)	Erro (%)
N008	40	43	-7%
N017	60	55	9%
N020	32	34	-7%
N021	93	76	23%
N056	52	38	38%
N077	50	37	35%
N101	60	40	51%
N124	60	52	15%
N150	48	37	30%
N234	56	41	35%
N299	90	78	16%
N300	40	33	21%
N407	16	25	-36%
N412	120	95	26%
N592	40	36	12%
N645	60	46	31%
O061	24	31	-24%
O111	20	24	-18%
O123	30	28	8%
O295	100	70	44%
O314	70	56	25%
O390	86	66	31%
O391	76	60	26%
O392	90	71	26%
O394	130	95	36%
O395	120	108	11%
O411	16	24	-33%
O432	70	60	17%
O439	40	34	18%
O440	40	34	17%
O461	20	24	-16%
O462	24	24	0%
O544	60	46	32%
O663	30	26	16%
P012	120	102	17%
P013	128	104	23%
P044	33	27	23%
P045	28	24	17%
P047	29	24	22%
P070	100	80	24%
P071	104	73	42%
P072	16	24	-34%
P141	67	63	6%
P142	44	42	4%
P143	108	74	46%
P144	100	94	7%
P169	140	124	13%
P170	75	53	42%
P172	20	24	-16%
P186	20	25	-21%
P211	73	69	7%
P219	61	45	36%
P366	40	44	-10%
P367	51	48	7%
P390	28	24	17%
P410	60	44	37%

Tabela 7-15 – Testes tempo programação de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de torno

Obra	Torno Real (h)	Torno Calculado (h)	Erro (%)
K050	53	56	-5%
K200	35	43	-19%
K201	30	40	-24%
K202	71	73	-3%
K203	52	58	-10%
K209	93	93	0%
K218	54	47	15%
K251	26	30	-13%
K288	80	74	8%
K289	75	72	5%
K407	40	50	-19%
K452	40	50	-19%
K564	40	36	11%
K568	80	92	-13%
K592	40	33	20%
K680	100	105	-5%
K723	50	51	-2%
L050	88	92	-4%
L198	63	71	-11%
L202	80	89	-10%
L203	80	80	0%
L204	80	80	0%
L226	100	101	-1%
L257	99	100	-1%
L258	100	108	-8%
L278	40	43	-8%
L279	80	91	-12%
L280	100	96	4%
L303	60	56	6%
L304	40	46	-12%
L305	88	94	-6%
L363	100	102	-2%
L482	130	122	6%
L484	60	56	8%
L507	38	43	-13%
L523	90	87	4%
L562	23	31	-26%
L564	50	55	-10%
L599	94,4	97	-2%
L600	50	50	1%
L603	67	64	4%
L635	30	40	-25%
L638	70	75	-7%
M034	60	52	16%
M035	40	41	-1%
M036	40	41	-1%
M038	100	104	-4%
M048	100	106	-5%
M206	60	63	-5%
M255	51	46	10%
M266	40	47	-14%
M310	113	107	5%
M311	100	106	-6%
M362	40	49	-19%
M366	40	47	-15%
M382	30	30	-1%
M385	30	31	-3%
M394	120	113	6%
M439	55	49	13%
M531	99	98	1%
M543	59	47	26%
M544	63	55	14%
M545	50	42	20%
M546	43	32	34%
M626	60	62	-3%
M691	65	55	17%
M692	74	79	-6%

Tabela 7-16 – Testes tempo torno de ferramentas progressivas

Obra	Torno Real (h)	Torno Calculado (h)	Erro (%)
N008	80	86	-7%
N017	100	101	-1%
N020	48	56	-14%
N021	128	120	7%
N056	68	61	12%
N077	80	76	5%
N101	80	81	-1%
N124	100	98	2%
N150	80	76	5%
N234	94	84	12%
N299	126	122	4%
N300	50	50	0%
N407	34	40	-16%
N412	133	134	-1%
N592	80	73	9%
N645	80	90	-11%
O061	45	50	-10%
O111	40	38	4%
O123	61	53	14%
O295	120	115	4%
O314	100	102	-2%
O390	120	112	7%
O391	120	107	12%
O392	124	117	6%
O394	140	134	5%
O395	140	142	-1%
O411	24	32	-24%
O432	100	106	-6%
O439	44	55	-20%
O440	60	55	8%
O461	36	33	8%
O462	40	33	20%
O544	93	90	4%
O663	60	52	16%
P012	140	138	1%
P013	140	139	1%
P044	60	45	34%
P045	40	43	-7%
P047	40	32	26%
P070	120	124	-3%
P071	128	118	8%
P072	34	39	-13%
P141	108	109	-1%
P142	94	85	11%
P143	123	119	4%
P144	140	133	5%
P169	155	150	3%
P170	100	99	1%
P172	50	32	55%
P186	50	47	6%
P211	114	114	0%
P219	80	89	-10%
P366	95	88	8%
P367	97	93	5%
P390	42	33	26%
P410	85	87	-2%

Tabela 7-17 – Testes tempo torno de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de desbaste

Obra	Desbaste Real (h)	Desbaste Calculado (h)	Erro (%)
K050	80	94	-15%
K200	60	64	-6%
K201	40	44	-9%
K202	105	91	16%
K203	100	105	-4%
K209	130	130	0%
K218	60	77	-22%
K251	30	33	-10%
K288	124	106	16%
K289	151	137	10%
K407	80	79	1%
K452	60	79	-24%
K564	60	44	36%
K568	167	148	13%
K592	50	40	26%
K680	168	155	8%
K723	89	65	37%
L050	160	148	8%
L198	160	142	13%
L202	160	140	15%
L203	136	120	13%
L204	130	120	8%
L226	180	170	6%
L257	161	168	-4%
L258	180	189	-5%
L278	60	65	-7%
L279	160	146	10%
L280	180	158	14%
L303	80	101	-21%
L304	80	70	15%
L305	117	132	-11%
L363	195	173	13%
L482	240	227	6%
L484	100	94	7%
L507	51	59	-13%
L523	112	116	-4%
L562	31	36	-13%
L564	107	98	9%
L599	176	159	11%
L600	80	79	1%
L603	110	117	-6%
L635	30	45	-33%
L638	123	109	13%
M034	104	84	24%
M035	64	46	40%
M036	62	46	36%
M038	190	179	6%
M048	200	182	10%
M206	93	113	-18%
M255	60	75	-20%
M266	80	72	11%
M310	152	161	-5%
M311	200	183	10%
M362	80	82	-3%
M366	70	78	-10%
M382	40	34	18%
M385	60	35	71%
M394	225	202	11%
M439	71	77	-7%
M531	145	162	-11%
M543	70	57	24%
M544	120	99	22%
M545	60	61	-2%
M546	57	37	53%
M626	104	116	-10%
M691	120	93	29%
M692	120	117	3%

Tabela 7-18 – Testes tempo desbaste de ferramentas progressivas

Obra	Desbaste Real (h)	Desbaste Calculado (h)	Erro (%)
N008	147	134	10%
N017	190	171	11%
N020	70	99	-29%
N021	240	221	9%
N056	124	113	9%
N077	120	111	8%
N101	113	122	-7%
N124	160	163	-2%
N150	116	111	5%
N234	143	128	12%
N299	240	225	7%
N300	100	80	25%
N407	32	46	-30%
N412	250	224	12%
N592	120	105	14%
N645	120	143	-16%
O061	73	85	-14%
O111	60	49	23%
O123	90	88	2%
O295	224	207	8%
O314	160	174	-8%
O390	200	198	1%
O391	198	185	7%
O392	200	211	-5%
O394	280	260	8%
O395	280	283	-1%
O411	30	36	-18%
O432	180	183	-2%
O439	88	98	-10%
O440	86	98	-13%
O461	30	39	-24%
O462	40	39	2%
O544	140	142	-1%
O663	80	77	4%
P012	280	273	3%
P013	280	275	2%
P044	80	53	51%
P045	40	50	-20%
P047	40	37	9%
P070	231	231	0%
P071	200	186	8%
P072	30	50	-40%
P141	200	192	4%
P142	100	131	-24%
P143	238	217	10%
P144	260	257	1%
P169	330	309	7%
P170	150	164	-9%
P172	40	37	7%
P186	63	66	-5%
P211	200	205	-2%
P219	150	139	8%
P366	125	138	-10%
P367	135	149	-10%
P390	40	40	1%
P410	119	136	-13%

Tabela 7-19 – Testes tempo desbaste de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação de horas de fresagem convencional

Obra	Convencional Real (h)	Convencional Calculado (h)	Erro (%)
K050	88	75	17%
K200	49	52	-5%
K201	40	44	-10%
K202	85	73	17%
K203	82	81	1%
K209	118	103	15%
K218	80	60	34%
K251	24	24	1%
K288	100	82	22%
K289	118	109	9%
K407	60	64	-6%
K452	60	63	-5%
K564	40	31	28%
K568	129	113	14%
K592	30	28	6%
K680	133	123	9%
K723	80	64	24%
L050	122	113	8%
L198	100	108	-8%
L202	100	107	-6%
L203	100	92	8%
L204	100	93	8%
L226	120	130	-7%
L257	116	128	-9%
L258	139	144	-3%
L278	40	52	-24%
L279	120	111	8%
L280	140	121	16%
L303	70	78	-10%
L304	50	56	-11%
L305	110	104	5%
L363	120	132	-9%
L482	160	171	-7%
L484	80	75	7%
L507	36	41	-13%
L523	100	92	8%
L562	23	26	-10%
L564	65	76	-15%
L599	140	121	16%
L600	58	64	-9%
L603	86	93	-8%
L635	49	45	9%
L638	97	84	15%
M034	80	67	19%
M035	60	46	31%
M036	49	46	7%
M038	148	136	9%
M048	152	138	10%
M206	80	90	-11%
M255	50	59	-15%
M266	60	58	4%
M310	120	126	-5%
M311	135	139	-3%
M362	60	64	-6%
M366	50	61	-17%
M382	30	24	23%
M385	40	25	60%
M394	150	153	-2%
M439	50	62	-19%
M531	113	124	-9%
M543	70	56	24%
M544	92	76	21%
M545	42	49	-15%
M546	30	27	13%
M626	80	89	-10%
M691	85	75	14%
M692	100	90	11%

Tabela 7-20 – Testes cálculo fresagem convencional de ferramentas progressivas

Obra	Convencional Real (h)	Convencional Calculado (h)	Erro (%)
N008	108	103	5%
N017	139	130	7%
N020	70	76	-8%
N021	160	167	-4%
N056	98	87	12%
N077	80	85	-6%
N101	105	94	12%
N124	120	124	-3%
N150	93	85	9%
N234	112	98	14%
N299	160	170	-6%
N300	80	64	24%
N407	53	46	16%
N412	192	175	10%
N592	96	81	19%
N645	94	109	-14%
O061	50	66	-24%
O111	40	35	16%
O123	80	70	13%
O295	173	157	10%
O314	150	132	14%
O390	140	150	-7%
O391	140	140	0%
O392	170	160	7%
O394	195	195	0%
O395	227	212	7%
O411	30	26	15%
O432	152	139	9%
O439	80	76	6%
O440	70	76	-8%
O461	20	28	-28%
O462	20	28	-28%
O544	123	109	13%
O663	54	54	1%
P012	220	205	8%
P013	225	206	9%
P044	40	53	-24%
P045	40	50	-20%
P047	40	26	53%
P070	180	174	3%
P071	160	146	10%
P072	30	35	-15%
P141	141	146	-3%
P142	87	101	-14%
P143	178	164	9%
P144	200	193	3%
P169	250	231	8%
P170	140	125	12%
P172	20	27	-25%
P186	39	46	-16%
P211	162	155	5%
P219	118	107	11%
P366	97	106	-8%
P367	103	114	-10%
P390	40	28	42%
P410	95	104	-9%

Tabela 7-21 – Testes cálculo fresagem convencional de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de fresagem CNC

Obra	CNC Real (h)	CNC Calculado (h)	Erro (%)
K050	135	165	-18%
K200	137	110	25%
K201	40	80	-50%
K202	160	159	0%
K203	150	192	-22%
K209	200	232	-14%
K218	121	138	-12%
K251	63	74	-15%
K288	189	161	17%
K289	300	247	22%
K407	100	138	-27%
K452	100	137	-27%
K564	60	69	-13%
K568	280	277	1%
K592	60	61	-2%
K680	270	281	-4%
K723	120	121	-1%
L050	260	277	-6%
L198	190	218	-13%
L202	240	260	-8%
L203	220	223	-1%
L204	220	223	-1%
L226	302	321	-6%
L257	291	317	-8%
L258	332	359	-8%
L278	80	82	-3%
L279	220	224	-2%
L280	240	245	-2%
L303	167	185	-10%
L304	157	121	30%
L305	250	287	-13%
L363	250	269	-7%
L482	410	435	-6%
L484	160	165	-3%
L507	76	93	-18%
L523	260	207	26%
L562	51	55	-7%
L564	118	148	-21%
L599	326	298	9%
L600	100	138	-27%
L603	121	154	-21%
L635	40	56	-28%
L638	160	201	-20%
M034	160	147	9%
M035	120	113	6%
M036	120	113	6%
M038	370	338	9%
M048	320	344	-7%
M206	165	201	-18%
M255	70	82	-15%
M266	80	92	-13%
M310	328	353	-7%
M311	322	345	-7%
M362	100	123	-19%
M366	165	140	18%
M382	60	52	15%
M385	80	54	49%
M394	380	385	-1%
M439	109	133	-18%
M531	281	305	-8%
M543	179	141	27%
M544	140	149	-6%
M545	80	53	51%
M546	72	57	26%
M626	213	176	21%
M691	200	199	1%
M692	195	178	10%

Obra	CNC Real (h)	CNC Calculado (h)	Erro (%)
N008	293	249	18%
N017	360	322	12%
N020	149	181	-18%
N021	460	422	9%
N056	240	209	15%
N077	197	168	17%
N101	263	226	16%
N124	324	306	6%
N150	240	204	18%
N234	271	237	14%
N299	460	430	7%
N300	160	140	15%
N407	50	57	-12%
N412	456	413	10%
N592	197	159	24%
N645	240	220	9%
O061	120	127	-5%
O111	100	76	31%
O123	110	114	-3%
O295	430	395	9%
O314	308	327	-6%
O390	416	376	11%
O391	376	350	7%
O392	444	402	10%
O394	545	501	9%
O395	591	549	8%
O411	40	56	-29%
O432	386	347	11%
O439	220	179	23%
O440	150	180	-17%
O461	70	61	16%
O462	80	61	32%
O544	300	265	13%
O663	130	123	6%
P012	571	527	8%
P013	560	532	5%
P044	121	97	24%
P045	100	63	59%
P047	80	56	42%
P070	486	442	10%
P071	446	412	8%
P072	60	78	-23%
P141	400	364	10%
P142	223	201	11%
P143	458	415	10%
P144	464	409	14%
P169	625	601	4%
P170	283	255	11%
P172	100	58	74%
P186	80	105	-24%
P211	432	390	11%
P219	275	260	6%
P366	220	258	-15%
P367	247	280	-12%
P390	67	61	10%
P410	287	254	13%

Tabela 7-23 – Testes calculo fresagem CNC de ferramentas progressivas (continuação)

Tabela 7-22 – Testes cálculo fresagem CNC de ferramentas progressivas

Testes – Avaliação das horas de rectificação

Obra	Rectificação Real (h)	Rectificação Calculado(h)	Erro (%)
K050	123	100	22%
K200	80	73	9%
K201	50	40	26%
K202	117	95	23%
K203	140	126	11%
K209	202	182	11%
K218	110	79	40%
K251	10	-25	-139%
K288	153	129	19%
K289	180	190	-5%
K407	80	106	-25%
K452	80	74	8%
K564	60	72	-17%
K568	180	179	1%
K592	40	56	-28%
K680	196	209	-6%
K723	80	131	-39%
L050	200	179	12%
L198	200	172	16%
L202	180	170	6%
L203	180	170	6%
L204	180	170	6%
L226	220	201	10%
L257	183	199	-8%
L258	220	239	-8%
L278	50	76	-34%
L279	180	177	2%
L280	180	212	-15%
L303	110	121	-9%
L304	80	55	45%
L305	165	152	8%
L363	200	203	-1%
L482	240	244	-2%
L484	100	132	-24%
L507	78	116	-33%
L523	200	165	21%
L562	15	40	-62%
L564	125	140	-10%
L599	202	190	6%
L600	80	106	-25%
L603	143	166	-14%
L635	30	42	-28%
L638	140	133	5%
M034	120	115	4%
M035	80	45	76%
M036	80	45	76%
M038	223	208	7%
M048	192	179	7%
M206	144	161	-10%
M255	60	76	-21%
M266	70	60	17%
M310	180	182	-1%
M311	180	211	-15%
M362	80	90	-11%
M366	60	81	-26%
M382	40	32	24%
M385	40	37	8%
M394	240	227	6%
M439	85	101	-16%
M531	160	161	-1%
M543	110	78	41%
M544	160	140	14%
M545	70	67	5%
M546	40	46	-13%
M626	154	164	-6%
M691	117	99	18%
M692	200	166	21%

Tabela 7-24 – Testes cálculo rectificação de ferramentas progressivas

Obra	Rectificação Real (h)	Rectificação Calculado(h)	Erro (%)
N008	158	132	20%
N017	218	201	8%
N020	99	118	-16%
N021	250	263	-5%
N056	160	139	16%
N077	130	135	-4%
N101	180	150	20%
N124	180	193	-7%
N150	163	135	21%
N234	202	179	13%
N299	220	243	-9%
N300	120	108	11%
N407	32	77	-58%
N412	272	265	3%
N592	150	127	19%
N645	162	174	-7%
O061	103	117	-12%
O111	80	88	-9%
O123	120	122	-2%
O295	260	253	3%
O314	191	203	-6%
O390	257	246	4%
O391	250	236	6%
O392	271	256	6%
O394	300	288	4%
O395	300	301	0%
O411	25	42	-41%
O432	220	212	4%
O439	100	116	-14%
O440	90	117	-23%
O461	30	54	-44%
O462	40	54	-26%
O544	170	141	21%
O663	139	156	-11%
P012	280	272	3%
P013	254	274	-7%
P044	100	68	47%
P045	40	59	-32%
P047	40	43	-7%
P070	259	247	5%
P071	240	237	1%
P072	70	91	-23%
P141	220	219	1%
P142	173	184	-6%
P143	247	237	4%
P144	271	263	3%
P169	308	314	-2%
P170	180	195	-8%
P172	50	46	8%
P186	117	133	-12%
P211	234	251	-7%
P219	180	193	-7%
P366	156	169	-8%
P367	167	180	-7%
P390	40	55	-27%
P410	180	166	8%

Tabela 7-25 – Testes cálculo rectificação de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação das horas de Electroerosão

Obra	Erosão Fio Real (h)	Erosão Fio Calculado (h)	Erro (%)
K050	140	148	-5%
K200	80	105	-24%
K201	50	52	-4%
K202	120	140	-14%
K203	120	189	-36%
K209	340	276	23%
K218	80	113	-29%
K251	16	-51	-131%
K288	240	193	25%
K289	260	290	-10%
K407	100	157	-36%
K452	100	106	-5%
K564	100	103	-3%
K568	260	272	-4%
K592	100	77	30%
K680	328	320	3%
K723	120	196	-39%
L050	240	272	-12%
L198	277	261	6%
L202	240	258	-7%
L203	251	258	-3%
L204	232	258	-10%
L226	360	306	18%
L257	271	303	-10%
L258	347	367	-5%
L278	100	109	-8%
L279	300	268	12%
L280	320	324	-1%
L303	120	180	-33%
L304	80	76	5%
L305	260	229	13%
L363	300	310	-3%
L482	350	375	-7%
L484	160	198	-19%
L507	155	172	-10%
L523	220	249	-12%
L562	25	52	-52%
L564	176	210	-16%
L599	340	289	18%
L600	140	157	-11%
L603	222	251	-12%
L635	80	55	46%
L638	170	199	-14%
M034	180	171	5%
M035	100	61	65%
M036	100	61	65%
M038	360	318	13%
M048	300	271	11%
M206	244	243	1%
M255	50	108	-54%
M266	100	83	20%
M310	300	277	8%
M311	300	322	-7%
M362	100	131	-23%
M366	80	117	-31%
M382	100	40	151%
M385	100	47	112%
M394	340	347	-2%
M439	117	149	-22%
M531	220	244	-10%
M543	160	112	43%
M544	180	210	-14%
M545	100	94	6%
M546	117	62	90%
M626	220	249	-12%
M691	180	146	24%
M692	220	251	-12%

Obra	Erosão Fio Real (h)	Erosão Fio Calculado (h)	Erro (%)
N008	225	197	14%
N017	320	306	4%
N020	120	175	-31%
N021	376	404	-7%
N056	260	208	25%
N077	260	202	28%
N101	201	226	-11%
N124	323	295	10%
N150	240	202	19%
N234	300	272	10%
N299	342	373	-8%
N300	120	160	-25%
N407	70	110	-37%
N412	436	408	7%
N592	200	189	6%
N645	220	263	-17%
O061	100	174	-42%
O111	160	127	26%
O123	160	182	-12%
O295	400	389	3%
O314	324	310	4%
O390	400	378	6%
O391	412	361	14%
O392	420	393	7%
O394	460	443	4%
O395	491	464	6%
O411	80	56	43%
O432	338	324	4%
O439	150	172	-13%
O440	110	174	-37%
O461	80	74	8%
O462	90	74	21%
O544	170	212	-20%
O663	215	236	-9%
P012	455	419	9%
P013	413	421	-2%
P044	120	97	24%
P045	100	83	21%
P047	95	57	67%
P070	408	379	8%
P071	370	363	2%
P072	70	133	-47%
P141	340	335	2%
P142	295	279	6%
P143	405	364	11%
P144	432	405	7%
P169	500	485	3%
P170	300	297	1%
P172	130	62	108%
P186	143	200	-28%
P211	366	386	-5%
P219	300	293	2%
P366	277	256	8%
P367	247	274	-10%
P390	100	76	31%
P410	232	252	-8%

Tabela 7-27 – Testes Cálculo Electroerosão de ferramentas progressivas (continuação)

Tabela 7-26 – Testes Cálculo Electroerosão de ferramentas progressivas

Testes – Avaliação das horas de montagem/ensaio

Obra	Montagem Real (h)	Montagem Calculado (h)	Montagem (h)
K050	141	177	-20%
K200	120	116	3%
K201	80	115	-30%
K202	220	171	29%
K203	220	199	10%
K209	240	252	-5%
K218	120	142	-15%
K251	102	106	-4%
K288	173	173	0%
K289	260	268	-3%
K407	160	147	9%
K452	140	146	-4%
K564	100	78	28%
K568	268	290	-8%
K592	100	69	44%
K680	279	307	-9%
K723	160	175	-9%
L050	323	290	11%
L198	200	236	-15%
L202	280	273	3%
L203	260	232	12%
L204	260	232	12%
L226	300	339	-11%
L257	331	334	-1%
L258	378	380	-1%
L278	130	118	10%
L279	260	243	7%
L280	278	266	4%
L303	160	192	-17%
L304	120	128	-6%
L305	340	301	13%
L363	340	293	16%
L482	427	463	-8%
L484	200	177	13%
L507	114	107	7%
L523	280	223	25%
L562	40	62	-36%
L564	131	159	-17%
L599	324	314	3%
L600	140	147	-5%
L603	192	225	-15%
L635	80	93	-14%
L638	190	209	-9%
M034	120	157	-23%
M035	80	120	-33%
M036	80	120	-33%
M038	320	357	-10%
M048	320	364	-12%
M206	165	217	-24%
M255	143	118	21%
M266	100	132	-24%
M310	360	373	-3%
M311	360	365	-1%
M362	120	131	-8%
M366	100	144	-31%
M382	70	59	19%
M385	70	61	15%
M394	400	408	-2%
M439	100	142	-30%
M531	300	321	-7%
M543	180	151	19%
M544	120	159	-25%
M545	80	111	-28%
M546	80	65	23%
M626	130	190	-31%
M691	200	206	-3%
M692	178	191	-7%

Tabela 7-28 – Testes cálculo montagem de ferramentas progressivas

Obra	Montagem Real (h)	Montagem Calculado (h)	Montagem (h)
N008	300	260	15%
N017	343	340	1%
N020	160	187	-15%
N021	460	449	2%
N056	280	217	29%
N077	178	181	-1%
N101	245	236	4%
N124	300	322	-7%
N150	235	212	11%
N234	278	248	12%
N299	480	458	5%
N300	160	149	7%
N407	110	95	16%
N412	464	456	2%
N592	165	170	-3%
N645	240	238	1%
O061	100	135	-26%
O111	100	87	15%
O123	140	165	-15%
O295	440	419	5%
O314	300	345	-13%
O390	406	398	2%
O391	384	370	4%
O392	434	427	2%
O394	555	536	4%
O395	606	588	3%
O411	80	63	26%
O432	380	367	4%
O439	160	185	-14%
O440	150	186	-20%
O461	60	69	-13%
O462	80	69	17%
O544	240	278	-14%
O663	185	143	30%
P012	550	565	-3%
P013	595	570	4%
P044	162	141	15%
P045	77	105	-27%
P047	77	63	21%
P070	480	471	2%
P071	405	438	-7%
P072	55	89	-38%
P141	343	385	-11%
P142	185	217	-15%
P143	478	441	8%
P144	482	451	7%
P169	660	647	2%
P170	315	277	14%
P172	85	65	31%
P186	140	121	16%
P211	420	413	2%
P219	315	272	16%
P366	224	270	-17%
P367	243	293	-17%
P390	77	69	11%
P410	275	265	4%

Tabela 7-29 – Testes cálculo montagem de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação do valor de matéria-prima

Obra	Materia-Prima Real (€)	Materia-Prima Calculado (€)	Materia-Prima
K050	7000	5387	30%
K200	2000	3276	-39%
K201	1750	3235	-46%
K202	6500	5132	27%
K203	5500	6330	-13%
K209	12500	8874	41%
K218	2500	4077	-39%
K251	2900	3000	-3%
K288	9000	5217	73%
K289	8000	9759	-18%
K407	3500	4250	-18%
K452	3250	4236	-23%
K564	2500	3245	-23%
K568	12500	11033	13%
K592	1500	2891	-48%
K680	15000	12028	25%
K723	4500	5315	-15%
L050	8000	11034	-27%
L198	7500	8042	-7%
L202	9000	10019	-10%
L203	6000	7854	-24%
L204	6000	7877	-24%
L226	9500	14110	-33%
L257	10000	13768	-27%
L258	14430	17006	-15%
L278	3000	3332	-10%
L279	9000	8412	7%
L280	10000	9660	4%
L303	3500	5998	-42%
L304	2500	3631	-31%
L305	11000	11684	-6%
L363	9500	11207	-15%
L482	21700	23587	-8%
L484	5000	5374	-7%
L507	5100	4630	10%
L523	12000	7435	61%
L562	1250	2620	-52%
L564	4200	4677	-10%
L599	14000	12483	12%
L600	5000	4255	18%
L603	4000	7526	-47%
L635	1750	3280	-47%
L638	6500	6746	-4%
M034	6000	4604	30%
M035	4300	3372	28%
M036	4300	3372	28%
M038	18000	15354	17%
M048	13000	15813	-18%
M206	7500	7117	5%
M255	1600	3328	-52%
M266	2500	3764	-34%
M310	18000	16482	9%
M311	18000	15912	13%
M362	3500	3708	-6%
M366	3000	4154	-28%
M382	2500	2504	0%
M385	3000	2573	17%
M394	16500	19133	-14%
M439	3200	4088	-22%
M531	12000	12971	-7%
M543	3500	4389	-20%
M544	5000	4688	7%
M545	2500	3697	-32%
M546	3200	2719	18%
M626	6000	5903	2%
M691	7000	6634	6%
M692	8500	5983	42%

Tabela 7-30 – Testes cálculo matéria-prima de ferramentas progressivas

Obra	Materia-Prima Real (€)	Materia-Prima Calculado (€)	Materia-Prima
N008	10800	9338	16%
N017	15000	14163	6%
N020	4000	5806	-31%
N021	27000	22405	21%
N056	6000	7157	-16%
N077	9000	5528	63%
N101	12000	8045	49%
N124	12000	13002	-8%
N150	9000	6889	31%
N234	10600	8668	22%
N299	27000	23159	17%
N300	4000	4320	-7%
N407	2225	3360	-34%
N412	27500	23024	19%
N592	9000	5102	76%
N645	10000	8163	23%
O061	3600	3851	-7%
O111	5000	3651	37%
O123	5500	4907	12%
O295	20000	19937	0%
O314	13000	14554	-11%
O390	20000	18373	9%
O391	17700	16264	9%
O392	25000	20630	21%
O394	27000	30202	-11%
O395	32800	35415	-7%
O411	1250	2661	-53%
O432	19000	16048	18%
O439	4500	5717	-21%
O440	5500	5768	-5%
O461	2500	2861	-13%
O462	3000	2861	5%
O544	9000	10312	-13%
O663	6000	6817	-12%
P012	30000	33017	-9%
P013	33200	33564	-1%
P044	3000	4038	-26%
P045	3000	3753	-20%
P047	3000	2670	12%
P070	25000	24256	3%
P071	25000	21473	16%
P072	2500	3747	-33%
P141	19200	17399	10%
P142	10000	7140	40%
P143	23000	21710	6%
P144	23900	22588	6%
P169	40000	41672	-4%
P170	14000	10270	36%
P172	4000	2727	47%
P186	4000	5444	-27%
P211	18000	19513	-8%
P219	11900	10003	19%
P366	7000	9875	-29%
P367	9000	11226	-20%
P390	2500	2883	-13%
P410	10000	9611	4%

Tabela 7-31 – Testes cálculo matéria-prima de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação do valor de tratamento térmico

Obra	Tratamentos Real (€)	Tratamentos Calculado (€)	Erro (%)
K050	2250	1817	24%
K200	750	1395	-46%
K201	1420	1263	12%
K202	2000	1766	13%
K203	1750	2006	-13%
K209	3440	2514	37%
K218	1950	1555	25%
K251	890	1232	-28%
K288	3000	1783	68%
K289	3000	2692	11%
K407	1250	1590	-21%
K452	1150	1587	-28%
K564	1750	1389	26%
K568	4000	2946	36%
K592	1090	1318	-17%
K680	4000	3145	27%
K723	1500	1541	-3%
L050	2400	2946	-19%
L198	2500	2348	6%
L202	3000	2743	9%
L203	2500	2310	8%
L204	2500	2315	8%
L226	3250	3562	-9%
L257	3000	3493	-14%
L258	3800	4141	-8%
L278	1000	1276	-22%
L279	3000	2422	24%
L280	3500	2672	31%
L303	1250	1939	-36%
L304	1000	1466	-32%
L305	3500	3076	14%
L363	3000	2981	1%
L482	5600	5457	3%
L484	2000	1814	10%
L507	1290	1666	-23%
L523	3750	2227	68%
L562	1420	1264	12%
L564	1920	1675	15%
L599	4430	3236	37%
L600	1750	1591	10%
L603	1600	1835	-13%
L635	1420	1269	12%
L638	2150	2089	3%
M034	2000	1661	20%
M035	1000	1414	-29%
M036	1000	1414	-29%
M038	5120	3810	34%
M048	5000	3902	28%
M206	2250	2163	4%
M255	1600	1276	25%
M266	1000	1334	-25%
M310	5200	4036	29%
M311	5450	3922	39%
M362	1000	1481	-32%
M366	1000	1570	-36%
M382	750	1240	-40%
M385	1000	1254	-20%
M394	5000	4566	10%
M439	1300	1557	-17%
M531	3240	3334	-3%
M543	1000	1617	-38%
M544	1500	1677	-11%
M545	750	1248	-40%
M546	750	1283	-42%
M626	2100	1920	9%
M691	2500	2067	21%
M692	2510	1936	30%

Tabela 7-32 – Testes cálculo tratamento térmico de ferramentas progressivas

Obra	Tratamentos Real (€)	Tratamentos Calculado (€)	Erro (%)
N008	3240	2607	24%
N017	4750	3572	33%
N020	2610	1901	37%
N021	5000	5221	-4%
N056	2000	2171	-8%
N077	3000	1845	63%
N101	3270	2349	39%
N124	4000	3340	20%
N150	3000	2117	42%
N234	3500	2473	42%
N299	5550	5371	3%
N300	1275	1604	-20%
N407	1550	1280	21%
N412	6350	5344	19%
N592	3000	1760	70%
N645	3000	2372	26%
O061	1750	1510	16%
O111	2050	1470	39%
O123	1750	1486	18%
O295	4200	4727	-11%
O314	4950	3651	36%
O390	5900	4414	34%
O391	5220	3992	31%
O392	6450	4866	33%
O394	8000	6780	18%
O395	8990	7823	15%
O411	1200	1272	-6%
O432	4460	3949	13%
O439	1800	1883	-4%
O440	1825	1893	-4%
O461	835	1312	-36%
O462	950	1312	-28%
O544	3500	2802	25%
O663	3000	2103	43%
P012	8000	7343	9%
P013	8990	7453	21%
P044	1000	1370	-27%
P045	1000	1332	-25%
P047	1000	1274	-21%
P070	6000	5591	7%
P071	5000	5034	-1%
P072	1060	1489	-29%
P141	4200	4219	0%
P142	2500	2168	15%
P143	6000	5082	18%
P144	6100	5257	16%
P169	10000	9074	10%
P170	4000	2794	43%
P172	1825	1285	42%
P186	1825	1828	0%
P211	4930	4642	6%
P219	4000	2740	46%
P366	2450	2715	-10%
P367	3140	2985	5%
P390	1550	1316	18%
P410	3500	2662	31%

Tabela 7-33 – Testes cálculo tratamento térmico de ferramentas progressivas (continuação)

Testes – Avaliação do valor de extras

Obra	Extras Real (€)	Extras Calculado (€)	Erro (%)
K050	2000	3001	-33%
K200	1250	1892	-34%
K201	1600	1850	-14%
K202	4330	4891	-11%
K203	2500	2712	-8%
K209	7500	7191	4%
K218	1500	1986	-24%
K251	1650	1724	-4%
K288	5000	5084	-2%
K289	4000	4190	-5%
K407	2000	2468	-19%
K452	2000	2461	-19%
K564	2370	2343	1%
K568	6000	7037	-15%
K592	2110	2087	1%
K680	6200	6070	2%
K723	2500	2771	-10%
L050	7500	7038	7%
L198	4500	3829	18%
L202	6500	6618	-2%
L203	5500	5648	-3%
L204	5500	5659	-3%
L226	8310	8253	1%
L257	6000	6623	-9%
L258	5780	6531	-11%
L278	1750	1896	-8%
L279	6000	7036	-15%
L280	7000	7603	-8%
L303	2350	2638	-11%
L304	1600	2080	-23%
L305	6890	7262	-5%
L363	8110	8308	-2%
L482	7000	7656	-9%
L484	2830	2889	-2%
L507	3180	3381	-6%
L523	6000	4408	36%
L562	1800	1894	-5%
L564	2370	2599	-9%
L599	7000	7655	-9%
L600	2600	2410	8%
L603	3370	3753	-10%
L635	1250	1894	-34%
L638	5000	5107	-2%
M034	3020	2567	18%
M035	2500	1969	27%
M036	2500	1969	27%
M038	9000	8688	4%
M048	7390	7138	4%
M206	3710	3434	8%
M255	1800	1896	-5%
M266	1700	2201	-23%
M310	8610	8987	-4%
M311	8000	8798	-9%
M362	2200	2119	4%
M366	2000	1990	0%
M382	2000	1882	6%
M385	2500	1923	30%
M394	9570	9911	-3%
M439	2000	2386	-16%
M531	7230	6385	13%
M543	3000	2472	21%
M544	3500	2794	25%
M545	2000	1916	4%
M546	2000	2073	-4%
M626	4000	3391	18%
M691	3500	2868	22%
M692	4500	5523	-19%

Tabela 7-34 – Testes cálculo extras de ferramentas progressivas

Obra	Extras Real (€)	Extras Calculado (€)	Erro (%)
N008	4860	4399	10%
N017	7200	6677	8%
N020	3400	2674	27%
N021	11370	10974	4%
N056	3290	3022	9%
N077	6000	5204	15%
N101	6000	5780	4%
N124	8000	7822	2%
N150	6000	5203	15%
N234	6580	6072	8%
N299	11250	11189	1%
N300	3000	2501	20%
N407	1800	2059	-13%
N412	12480	12948	-4%
N592	3330	3415	-2%
N645	6300	6807	-7%
O061	2000	2189	-9%
O111	3000	2612	15%
O123	3250	2830	15%
O295	9760	10083	-3%
O314	6000	5896	2%
O390	9950	9675	3%
O391	8900	8995	-1%
O392	8880	8419	5%
O394	12830	12939	-1%
O395	14050	14241	-1%
O411	2000	1929	4%
O432	9000	8923	1%
O439	3000	2580	16%
O440	2910	2597	12%
O461	2000	2192	-9%
O462	2500	2192	14%
O544	6200	5553	12%
O663	4600	4385	5%
P012	9070	9253	-2%
P013	13000	13651	-5%
P044	2520	2308	9%
P045	2520	2275	11%
P047	2520	2031	24%
P070	9000	9085	-1%
P071	10000	8786	14%
P072	2000	2773	-28%
P141	9450	9399	1%
P142	6660	6273	6%
P143	9560	8506	12%
P144	13320	13029	2%
P169	12630	12475	1%
P170	6200	5515	12%
P172	3000	1998	50%
P186	3000	3645	-18%
P211	7690	8125	-5%
P219	6160	5481	12%
P366	6240	6664	-6%
P367	7160	7229	-1%
P390	2520	2210	14%
P410	5630	5288	6%

Tabela 7-35 – Testes cálculo extras de ferramentas progressivas (continuação)

7.4.15 Cálculos Finais

A partir de todos os cálculos efectuados para cada sector individualmente, como foi apresentado anteriormente, criou-se um algoritmo que pudesse calcular o valor monetário final de ferramentas simples, e fazer também uma apresentação do valor para cada sector individualmente.

Fluxograma do sistema de orçamentação de ferramentas progressivas

Após a organização de todos os processos de cálculo individualmente, para uma boa visualização e percepção do sistema de orçamentação das ferramentas progressivas é apresentado na Figura 7-45 o respectivo fluxograma.

Implementação do sistema de orçamentação em folha de cálculo

O sistema de orçamentação de ferramentas progressivas foi implementado em Excel. A folha de cálculo pode ser vista na Figura 7-46.

Como se pode verificar o sistema depende directamente do algoritmo do cálculo do número de passos, visto haver campos que dependem do número de passos. O próprio sistema extrai essa informação do algoritmo do cálculo do número de passos, onde é obrigatório estarem todos os campos preenchidos.

Área Planificada (mm²) =
 Número de peças simultâneo =
 Espessura da chapa =
 Número de módulos =

Número de passos corte = 0
 Número de passos dobra = 0
 Número de passos total = 0
 Área de Orçamento Progressivo (mm²)= 0

Volume da Ferramenta (mm ³):	Inserir Valores	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Programação (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Torno (h):	Inserir Valores	27,50 €	Inserir Valores
Desbaste (h):	Inserir Valores	22,50 €	Inserir Valores
Convencional (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
CNC (h):	Inserir Valores	40,00 €	Inserir Valores
Rectificação (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Erosão Fio (h):	Inserir Valores	45,00 €	Inserir Valores
Montagem/Ensaio (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Matéria-Prima (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Tratamento Térmico (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Extras (€):	Inserir Valores		Inserir Valores

TOTAL : 0 €

Figura 7-46 – Algoritmo de ferramentas progressivas

Entrada de dados no sistema

A Figura 7-47 mostra a entrada do sistema de orçamentação de ferramentas progressivas. Esta entrada de dados é composta por poucos campos de dados, visto este algoritmo depender directamente do algoritmo do cálculo do número de passos. Os dados necessários para o seu preenchimento são: a área planificada da peça, o número de peças em simultâneo que a ferramenta irá fabricar, a espessura da chapa e o número de módulos. Relativamente aos campos pertencentes aos números de passos, o sistema vai buscar estes dados ao algoritmo do cálculo de número de passos. A área de orçamento progressivo é um campo de cálculo. É a área planificada da peça a multiplicar pelo número de peças em simultâneo e pelo número de passos total. O resultado deste cálculo é a área da banda, consequentemente a área para o cálculo do volume da ferramenta progressiva.

Área Planificada (mm²) =
 Número de peças simultâneo =
 Espessura da chapa =
 Número de módulos =

Número de passos corte = 0
 Número de passos dobra = 0
 Número de passos total = 0
 Área de Orçamento Progressivo (mm²)= 0

Figura 7-47 – Entrada de dados no sistema de orçamentação de ferramentas progressivas

Saída de dados do sistema

É apresentado na Figura 7-48 a saída de dados do sistema. Esta saída é apresentada em tudo de forma análoga à saída de dados das ferramentas simples. Como se pode verificar, esta apresenta os valores monetários para cada sector individualmente como também apresenta o número de horas para os sectores de produção.

Volume da Ferramenta (mm ³):	Inserir Valores	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Programação (h):	Inserir Valores	25,00 €	Inserir Valores
Torno (h):	Inserir Valores	27,50 €	Inserir Valores
Desbaste (h):	Inserir Valores	22,50 €	Inserir Valores
Convencional (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
CNC (h):	Inserir Valores	40,00 €	Inserir Valores
Rectificação (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Erosão Fio (h):	Inserir Valores	45,00 €	Inserir Valores
Montagem/Ensaio (h):	Inserir Valores	30,00 €	Inserir Valores
Matéria-Prima (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Tratamento Térmico (€):	Inserir Valores		Inserir Valores
Extras (€):	Inserir Valores		Inserir Valores

TOTAL : 0 €

Figura 7-48 – Saída de dados do sistema de orçamentação de ferramentas progressivas

7.4.16 Aplicação do sistema a casos concretos

O caso em análise é referente à peça da Figura 7-28, como já referido a peça em questão a ferramenta progressiva só faz a platina da peça. Os passos de dobra serão executados em ferramentas simples de dobra. A ferramenta em questão (obra L635) foi orçamentada em 16.000€.

Inserindo todos os dados no sistema e as características referentes à peça em questão, obtém-se o valor de 17.476€ (ver Figura 7-49).

Área Planificada (mm ²) =	14660	Número de passos corte =	4
Número de peças simultâneo =	1	Número de passos dobra =	0
Espessura da chapa =	1,50	Número de passos total =	4
Número de módulos =	1	Área de Orçamento Progressivo (mm ²)=	58640

Volume da Ferramenta (mm ³):		Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	85	25,00 €	2.127,79 €
Programação (h):	24	25,00 €	601,04 €
Torno (h):	35	27,50 €	955,52 €
Desbaste (h):	42	22,50 €	945,03 €
Convencional (h):	30	30,00 €	895,21 €
CNC (h):	65	40,00 €	2.602,54 €
Rectificação (h):	10	30,00 €	292,98 €
Erosão Fio (h):	4	45,00 €	200,53 €
Montagem/Ensaio (h):	74	30,00 €	2.216,26 €
Matéria-Prima (€):	3.068 €		3.068 €
Tratamento Térmico (€):	1.353 €		1.353 €
Extras (€):	2.218 €		2.218 €

TOTAL : 17.476 €

Figura 7-49 – Orçamento de ferramenta progressiva para a peça da Figura 7-28

Como se pode verificar, na Figura 7-49 o sistema a partir dos dados inseridos calculou para a ferramenta progressiva quatro passos de corte, consequentemente calculou um valor de 17.476€, sendo um valor orçamentado próximo da realidade.

O seguinte caso em análise é referente à peça da Figura 7-30, a peça em questão foi realizada numa única ferramenta, onde foi executado os passos de corte, de dobra, e ainda um

passo em vazio no final por opção do cliente. A ferramenta em questão (obra N017) foi executada usando cinco passos de corte, quatro de dobra e um passo em vazio no final, antes do passo de separação da peça da fita, e a ferramenta foi orçamentada em 107.000€.

Inserindo todos os dados no sistema e as características referentes à peça em questão, obtém-se o valor de 109.505€ (ver Figura 7-50).

Área Planificada (mm ²) =	76330	Número de passos corte =	5
Número de peças simultâneo =	1	Número de passos dobra =	4
Espessura da chapa =	2,00	Número de passos total =	10
Número de módulos =	3	Área de Orçamento Progressivo (mm ²)=	763300

Volume da Ferramenta (mm ³):	989397160	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	159	25,00 €	3.975,19 €
Programação (h):	28	25,00 €	703,67 €
Torno (h):	118	27,50 €	3.235,22 €
Desbaste (h):	105	22,50 €	2.356,17 €
Convencional (h):	72	30,00 €	2.170,37 €
CNC (h):	170	40,00 €	6.815,01 €
Rectificação (h):	149	30,00 €	4.469,92 €
Erosão Fio (h):	224	45,00 €	10.097,30 €
Montagem/Ensaio (h):	199	30,00 €	5.984,08 €
Matéria-Prima (€):	11.279 €		11.279 €
Tratamento Térmico (€):	2.995 €		2.995 €
Extras (€):	8.493 €		8.493 €
TOTAL :		109.505 €	

Figura 7-50 – Orçamento de ferramenta progressiva para a peça da Figura 7-30

Comparando o valor resultante do sistema (109.505€) com o valor orçamentado, pode considerar-se que os valores estão muito próximos.

Da análise da Tabela 7-36, observa-se que o sistema se comporta muito bem e que se pode considerar fiável. De notar que os casos analisados correspondem a ferramentas de estampar desde os 20.000€ até aos 150.000€, o que representa um leque com uma abrangência considerável.

Tabela 7-36 – Comparação entre orçamentos calculados pelo sistema e os realizados pela empresa

Obra	Valor Real (€)	Valor Calculado (€)	Erro (%)
K289	66.800,00 €	75.176,00 €	-11%
L202	66.500,00 €	68.279,00 €	-3%
L303	34.000,00 €	39.648,00 €	-14%
M034	44.450,00 €	37.546,00 €	18%
M036	29.725,00 €	24.377,00 €	22%
M385	22.725,00 €	20.484,00 €	11%
M692	68.400,00 €	68.573,00 €	0%
N021	116.550,00 €	117.469,00 €	-1%
O111	34.000,00 €	39.112,00 €	-13%
O123	40.000,00 €	40.482,00 €	-1%
N300	38.000,00 €	34.960,00 €	9%
P012	153.500,00 €	162.302,00 €	-5%
P047	22.930,00 €	23.777,00 €	-4%
P141	111.600,00 €	99.820,00 €	12%
P144	148.500,00 €	140.390,00 €	6%
P390	23.930,00 €	27.727,00 €	-14%

Sensibilidade do sistema a pequenas alterações na peça a estampar

Um dos grandes objectivos do sistema é a verificação dos impactos económicos em certas modificações da peça, para conseguir a melhor solução tanto para o cliente como para a empresa, Para o efeito, testou-se o sistema com pequenas alterações na peça a estampar para verificar-se o impacto que essa modificação poderá ter no custo da ferramenta de estampar.

Por exemplo, apresenta-se na Figura 7-51 as propriedades originais de uma peça a estampar imaginária.

Área Planificada (mm ²) =	50500	Número de passos corte =	5
Número de peças simultâneo =	1	Número de passos dobra =	4
Espessura da chapa =	2,00	Número de passos total =	9
Número de módulos =	2	Área de Orçamento Progressivo (mm ²)=	454500

Volume da Ferramenta (mm ³):	629583400	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	127	25,00 €	3.165,61 €
Programação (h):	26	25,00 €	658,70 €
Torno (h):	101	27,50 €	2.771,43 €
Desbaste (h):	83	22,50 €	1.866,15 €
Convencional (h):	58	30,00 €	1.731,31 €
CNC (h):	133	40,00 €	5.330,50 €
Rectificação (h):	113	30,00 €	3.403,89 €
Erosão Fio (h):	168	45,00 €	7.571,47 €
Montagem/Ensaio (h):	155	30,00 €	4.644,11 €
Matéria-Prima (€):	7.681 €		7.681 €
Tratamento Térmico (€):	2.276 €		2.276 €
Extras (€):	8.206 €		8.206 €
TOTAL :		86.284 €	

Figura 7-51 – Análise de sensibilidade de ferramentas progressivas caso de partida

Como se pode verificar na Figura 7-51, a peça imaginária que se irá usar como exemplo tem uma área planificada de 50500mm. A ferramenta executa uma única peça, com uma espessura de 2mm e em dois módulos. Os passos para esta ferramenta serão cinco de corte e quatro de dobra, sem passos em vazio.

Área Planificada (mm ²) =	50500	Número de passos corte =	5
Número de peças simultâneo =	1	Número de passos dobra =	4
Espessura da chapa =	2,00	Número de passos total =	10
Número de módulos =	2	Área de Orçamento Progressivo (mm ²)=	505000

Volume da Ferramenta (mm ³):	688426000	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	132	25,00 €	3.298,01 €
Programação (h):	27	25,00 €	666,05 €
Torno (h):	104	27,50 €	2.857,50 €
Desbaste (h):	87	22,50 €	1.954,16 €
Convencional (h):	60	30,00 €	1.810,41 €
CNC (h):	140	40,00 €	5.595,75 €
Rectificação (h):	120	30,00 €	3.614,60 €
Erosão Fio (h):	179	45,00 €	8.070,72 €
Montagem/Ensaio (h):	163	30,00 €	4.882,75 €
Matéria-Prima (€):	8.269 €		8.269 €
Tratamento Térmico (€):	2.393 €		2.393 €
Extras (€):	8.619 €		8.619 €
TOTAL :		91.055 €	

Figura 7-52 – Análise de sensibilidade de ferramentas progressivas ao número total de passos

Como pode-se verificar na alteração feita (ver Figura 7-52), foi adicionado um passo em vazio, para uma peça com as dimensões indicadas, um passo em vazio só por opção, fica em cerca de 5000€, o que é uma diferença considerável.

Área Planificada (mm ²) =	50500	Número de passos corte =	5
Número de peças simultâneo =	1	Número de passos dobra =	4
Espessura da chapa =	3.00	Número de passos total =	9
Número de módulos =	2	Área de Orçamento Progressivo (mm ²)=	454500

Volume da Ferramenta (mm ³):	629583400	Valor (€/h)	Preço Final (€)
Projecto (h):	127	25,00 €	3.165,61 €
Programação (h):	26	25,00 €	658,70 €
Torno (h):	101	27,50 €	2.771,43 €
Desbaste (h):	83	22,50 €	1.866,15 €
Convencional (h):	58	30,00 €	1.731,31 €
CNC (h):	133	40,00 €	5.330,50 €
Rectificação (h):	113	30,00 €	3.403,89 €
Erosão Fio (h):	168	45,00 €	7.571,47 €
Montagem/Ensaio (h):	155	30,00 €	4.644,11 €
Matéria-Prima (€):	7.681 €		7.681 €
Tratamento Térmico (€):	2.276 €		2.276 €
Extras (€):	8.278 €		8.278 €
TOTAL :			86.411 €

Figura 7-53 – Análise de sensibilidade de ferramentas progressivas à espessura de chapa

No exemplo apresentado na Figura 7-53 a alteração prende-se com a espessura de chapa, foi modificada de 2mm para 3mm. Nota-se que a diferença de valor final é muito reduzida, pouco mais de 100€. No caso das ferramentas progressivas ainda se nota menos o factor de espessura de chapa do que no caso das ferramentas simples, devido a estas ferramentas serem maiores e com mais componentes. De notar que são referidas peças com espessuras de chapas até cerca de 4mm ou 5mm, para peças com espessuras superiores a este, o valor da ferramenta já será alterado de uma forma distinta visto serem peças com grandes espessuras.

Estes impactos económicos neste tipo de alterações estão bem presentes no sistema e pode-se ter uma completa noção dos impactos em poucos segundos, modificando apenas uma ou outra característica da peça a estampar.

8 Conclusões

O trabalho realizado visou como era seu objectivo a criação de um sistema de orçamentação de ferramentas de estampagem. Com o desenvolvimento do estudo chegou-se a patamares mais além do que um simples sistema de orçamentação. Por exemplo a capacidade dos algoritmos desenvolvidos no estudo de verificarem impactos económicos para varias soluções, o que se torna bastante importante na altura de um orçamento, ou na discussão do mesmo. Verificar o impacto económico que terá caso se adicione um passo em vazio, adicionar ou retirar um marcador, etc. em termos de verificação ou de uma simples noção de valor, o sistema consegue distinguir todos estes factores.

O estudo que foi feito recaiu em três fases distintas: uma fase inicial, onde houve um estudo aprofundado sobre a empresa, como trabalhava, que dados existiam e que podiam ser úteis, a forma como conseguia extrair os dados, etc.. Este estudo inicial deu uma visão alargada sobre a empresa e sobre a forma de trabalhar da empresa. O estudo inicial também foi proveitoso para a empresa porque notou-se pontos onde poderiam ser melhorados para um melhor funcionamento da empresa, nomeadamente sobre o controlo de produção. A segunda fase de estudo foi a aquisição de todos os dados necessários para o desenvolvimento do sistema e a criação de uma metodologia para os trabalhar. Nesta fase também houve alguns problemas que se prendiam com a designação das obras por parte da comercial em contraste com o projecto, que nem sempre era a mesma designação. Em correspondência com o trabalho realizado, este problema também já esta parcialmente ultrapassado por parte da empresa. A última fase foi a criação dos algoritmos de cálculo a partir dos dados adquiridos na fase anterior. Estes algoritmos foram desenvolvidos com base em critérios e metodologias citadas anteriormente. Um algoritmo muito relevante, é o algoritmo do cálculo do número de passos, o que neste ramo da metalomecânica é sempre algo muito difícil de obter, claro que para a correcta utilização deste algoritmo é necessário ter uma visão crítica sobre o assunto e conhecimentos sobre ferramentas de estampagem.

Com este estudo tem-se uma completa noção de como são executados os orçamentos das ferramentas de estampagem na industria metalomecânica e também uma noção de como esse mesmo orçamento poderá ser feito, a partir de que mecanismos e metodologias.

Todos os testes efectuados ao sistema foram um sucesso, pode-se verificar nas tabelas de testes que o desvio é baixo em comparação com o real e tendo sempre em atenção a sua grande gama de valores disponíveis. Na Tabela 7-36 poderá verificar-se também alguns dos cálculos finais que foram executados, sempre com uma boa precisão.

O sistema que foi desenvolvido está a ser usado pela empresa com bastante utilidade, e também a ter um constante melhoramento. Existe alguns projectos futuros para este trabalho, nomeadamente a introdução de tolerâncias para o orçamento da peça a estampar. Visto que as tolerâncias cada vez mais são um factor decisivo no custo da ferramenta, as tolerâncias

cada vez são menores e isso aumenta e muito o custo da própria ferramenta de estampar, por exemplo tolerâncias gerais de corte na ordem dos 0.5mm e de volume na ordem dos 0.8mm.

9 Bibliografia

- [Ref. 1] Berruti, Aldo – Stampi e Presse per la Lavorazione a Freddo della Lamiera. Torino: S. Lattes & C. Editori. 2002.
- [Ref. 2] Chiaverini, Vicente – Tecnologia Mecânica. Processos de fabrico e tratamento. McGraw – Hill. 2002.
- [Ref. 3] Courtois, Alain; Pillet, Maurice; Martin-Bonnefous, Chantal – **Gestion de Production**. Paris: Éditions d'Organisation. 2003.
- [Ref. 4] Esawi, A. M. K.; Ashby, M. F. – **Cost Estimates to Guide Pre-selection of Processes**. Cairo: The American University In Cairo. 2003.
- [Ref. 5] Laboratory, Materials System – **Cost Modeling as a Benchmarking Tool**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. 1999.
- [Ref. 6] Maier, Jonathan R. A.; Fadel, Georges M. – **Strategic Decisions In The Early Stages Of Product Family Design**. Clemson: Clemson University. 2001.
- [Ref. 7] Monteiro, António J. M. – Production Cost Modeling For The Automotive Industry. Lisboa: IST – UTL.
- [Ref. 8] Murteira, Bento – **Estatística**. Lisboa: McGraw-Hill. 2002.
- [Ref. 9] Poli, Corrado – **Design For Manufacturing – A Structured Approach**. Massachusetts: Butterworth-Heinemann. 2001.
- [Ref. 10] Provenza, Francesco – **Estampos Vol. I, II & III**. São Paulo: Editora F. Provenza. 1990.
- [Ref. 11] RODRIGUES, Jorge – **Corte por Arrombamento**. Lisboa: IST – UTL. 2004.
- [Ref. 12] RODRIGUES, Jorge – **Tecnologia Mecânica**. Lisboa: IST – UTL. 2004.
- [Ref. 13] Rodrigues, Jorge; Martins, Paulo – **Tecnologia Mecânica – Tecnologia de Deformação Plástica**. Lisboa: Escolar Editora. 2005.
- [Ref. 14] Rossi, Mário – **Estampado En Frio De La Chapa**. Barcelona: Editorial Científico-Médica. 1971.

10 **Anexos**

Todos os anexos são apresentados na versão digital do referido documento.